

# **Implementação de um Sistema de Controlo de Processo na Indústria Vidreira**

*Pedro Rodrigo Baeta Pinto de Barros*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Prof. Hermenegildo Pereira



**Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão**

2015-07-01

“L’essentiel est invisible pour les yeux.”

Antoine de Saint-Exupéry, em *Le Petit Prince*

## Resumo

A atual conjuntura de mercado obriga continuamente as empresas a procurar vantagens competitivas relativamente aos seus concorrentes, com vista à obtenção de uma melhor performance operacional, maior satisfação dos seus clientes e diferenciação da oferta em produtos ou serviços. Neste âmbito, é frequente o recurso a inovações tecnológicas que possibilitem, a longo prazo, a redução de custos, maior flexibilidade e maior garantia da qualidade dos seus produtos.

É neste contexto que o projeto desta dissertação se insere, abordando a implementação de um sistema de controlo de processo numa linha de produção da indústria do vidro de embalagem. A complexidade do processo produtivo das embalagens de vidro e sua intrínseca variabilidade estão na origem da necessidade de um maior controlo das unidades produzidas, que permita identificar mais facilmente as causas de variação e a sua eliminação. Foi acompanhada a introdução do sistema numa linha piloto e desenvolvidas ferramentas de consulta divulgadas na formação dos trabalhadores para que dispusessem do conhecimento necessário para a sua utilização.

São exploradas as potencialidades do sistema quando integrado na rotina diária dos operadores e verificado o impacto que este causou nos resultados da linha piloto tendo em conta diferentes indicadores definidos previamente. Foram observadas melhorias nos indicadores de produtividade, bem como a redução da incidência de defeitos críticos e a inexistência de paletes bloqueadas para controlo de qualidade. No entanto, salienta-se a dificuldade existente em isolar o “efeito sistema” na obtenção destas melhorias, devido às inúmeras variáveis envolvidas no processo produtivo.

No final, sumarizam-se os principais benefícios e custos envolvidos e é feita uma análise à possibilidade da sua implementação. Contudo, realça-se a existência de várias oportunidades de melhoria a trabalhar e desenvolver, que poderão contribuir para a obtenção de resultados superiores no futuro.

# **Implementation of a Process Control System in the Glass Container Industry**

## **Abstract**

The current market scenario is forcing companies to continuously seek for competitive advantages in the marketplace, as they aim for better operational performances and increased customer satisfaction. In this context, it is frequent to embrace technology innovation as a driving force to achieve, in the long term, cost reduction, increased flexibility and improved product quality.

This project approaches the implementation of a process control system in a glass container's production line. The complexity of the process involving glass containers' production and its inherent variability have urged the need to improve the control over the units produced and, therefore, facilitate the identification of the variation causes and their elimination. The system's implementation on a target production line was monitored, tools for its use were developed and people were given formation on the subject, so that they had the knowledge required to use it.

The system's potential on the operators daily routine is explored and the main impacts it had on the target production line were studied over different perspectives, using many predefined indicators. Some improvements were found concerning the line's productivity, reduction of critical defects' frequency and absence of palets bloqued for quality control. However, it is difficult to isolate the "system's effect" on these progresses due to the innumerous variables that exist in the production process.

In the end, the benefits and costs involved are summed up, the cash flows generated by the project are estimated and it is conducted an analysis on the possibility of implementation. However, there are still many opportunities that can be worked on and developed and they can contribute to enhance results in the future.

## Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a todas as pessoas da BA Vidro com quem aprendi a nível profissional e pessoal ao longo dos últimos meses.

Ao Professor Hermenegildo Pereira, pelo seu apoio, sugestões de melhoria e orientação ao longo do projeto.

Ao Engenheiro Rui Matos, meu orientador na Empresa, que me guiou e motivou diariamente durante estes 4 meses e foi uma peça crucial para que o projeto ganhasse relevância ao longo do tempo.

Ao Hélder Sanches, Júlio Raposeiro e Marco Marques pelo seu apoio no decorrer do projeto.

Um agradecimento também a Gabriel Parga da XPAR Vision pelo seu suporte na utilização do sistema XPAR IR-D e pela forma prestável com que sempre esclareceu as minhas muitas questões.

A todos os que contribuíram com o seu conhecimento e opinião para tornar a escrita desta dissertação mais coerente e precisa. Henrique Cruz, João Alves e Márcia Monteiro obrigado pela paciência. Confirmaram que, de facto, um projeto é um processo iterativo constante.

A todos com quem partilhei estes últimos cinco anos da vida de universitário. Verdadeiros tempos de amizade e momentos únicos. Este projeto é o culminar de tudo isso.

À Isabel, pelo incansável apoio, pelo amor e por acreditar sempre em mim.

Aos meus pais e avós, que sempre me transmitiram a vontade de saber mais e fazer o melhor que consigo, obrigado pela vossa motivação constante e preocupação. Tudo o que poderia escrever seria pouco.

# Índice de Conteúdos

1	Introdução .....	1
1.1	Indústria Vidreira .....	1
1.2	Apresentação da BA Vidro, S.A. ....	2
1.3	Contextualização do Projeto na BA Vidro, S.A.....	2
1.4	Objetivos do Projeto .....	3
1.5	Metodologia seguida no Projeto .....	3
1.6	Estrutura do Documento .....	3
2	Enquadramento Teórico.....	5
2.1	Termografia.....	5
2.2	Qualidade.....	7
2.2.1	Controlo do Processo .....	10
2.2.2	Controlo Estatístico do Processo.....	10
2.3	Análise Custo-Benefício .....	12
3	Análise Inicial da Empresa.....	16
3.1	Processo Produtivo .....	16
3.2	Situação prévia .....	19
3.2.1	Controlo Estatístico do Processo.....	19
3.2.2	Controlo de Qualidade e Reescolha.....	19
3.3	Sistema XPAR IR-D .....	20
3.3.1	Funcionalidades do sistema .....	22
3.4	Implementação do sistema XPAR IR-D .....	24
3.4.1	Escolha da linha piloto.....	25
3.4.2	Objetivos Iniciais.....	26
3.4.3	Instalação do equipamento na linha piloto .....	27
4	Desenvolvimento do Projeto .....	28
4.1	Estudo do funcionamento do sistema .....	28
4.2	Formação dos operadores .....	28
4.3	Manual do equipamento.....	30
4.4	Evolução do sistema .....	30
4.4.1	Rejeição por causa.....	31
4.5	Verificação intensidade/espessura.....	36
4.6	Definição de Indicadores.....	36
4.6.1	Eficiência a Quente .....	38
4.6.2	Rejeição nas MIL.....	39
4.6.3	Rendimento de Fábrica .....	39
4.6.4	Defeitos críticos .....	40
4.6.5	Controlo de qualidade .....	41
4.6.6	Reclamações.....	42
4.7	Alteração da cor para vidro preto .....	43
4.8	Melhorias realizadas .....	44
4.9	Análise Custo-Benefício .....	44
5	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro.....	47
	Referências .....	49
ANEXO A	Produção de vidro por setor na União Europeia .....	51
ANEXO B	Estrutura do grupo BA Vidro.....	52
ANEXO C	Cronograma do Projeto .....	53
ANEXO D	Relação intensidade/espessura .....	54
ANEXO E	Informação da Vista Geral .....	56
ANEXO F	Relatórios do XMIS.....	57
ANEXO G	Matriz de prioridades e impactos do projeto .....	59

ANEXO H	Manual do equipamento, 1º Anexo em volume separado.....	60
ANEXO I	Consulta dos operadores .....	61
ANEXO J	Processo de queda da gota.....	62
ANEXO K	Validação da relação intensidade/espessura .....	63
ANEXO L	Código VBA para agregação de dados .....	66
ANEXO M	Produção do vidro preto .....	67
ANEXO N	Melhorias no IAFIS .....	68
ANEXO O	Período de Recuperação do investimento .....	70

## Siglas

AV – Avintes

GQT – Gestão da Qualidade Total

IS – Individual Section

MIL – Máquinas de Inspeção em Linha

NNPB – Narrow-Neck-Press-and-Blow

PSL – Pressure Sensitive Label

SS – Soprado-Soprado



## Índice de Figuras

Figura 1 – Localização das fábricas da BA Vidro, S.A.....	2
Figura 2 – Espectro Eletromagnético. ....	5
Figura 3 – Custos da Qualidade.....	8
Figura 4 – Custos escondidos da qualidade.....	9
Figura 5 – Etapas do controlo estatístico do processo.....	11
Figura 6 – Exemplo de carta de controlo.....	12
Figura 7 – Fluxo das decisões de investimento. ....	13
Figura 8 – Processo Produtivo.....	16
Figura 9 – Movimento de Inversão nas máquinas IS (vista de perfil).....	18
Figura 10 – Representação de Máquina IS de 8 secções e gota tripla (vista de cima). ....	18
Figura 11 – Câmaras XPAR IR-D na linha de produção (P: Principal; S: Satélite). ....	21
Figura 12 – Exemplo da Vista Geral da consola. ....	21
Figura 13 – Comparação do processo com e sem o sistema XPAR IR-D.....	22
Figura 14 – Zonas da embalagem no sistema.....	23
Figura 15 – Últimos Rejeitados (esquerda) e Rejeição por causa e cavidade (direita). ....	24
Figura 16 – Transporte (esquerda) e Ver Cavidade (direita).....	24
Figura 17 – Fornos e linhas de produção da fábrica de Avintes. ....	25
Figura 18 – Etapas da linha 41. ....	26
Figura 19 – Ocorrência de picos na lubrificação. ....	29
Figura 20 – Taxa de rejeição do sistema ao longo do tempo. ....	31
Figura 21 – Rejeição do sistema por causa.....	32
Figura 22 – Distribuição da rejeição por baixa intensidade por zona entre janeiro e abril. ....	32
Figura 23 – Rejeição no gargalo superior e inferior.....	33
Figura 24 – Rejeições por baixa intensidade no gargalo superior por turno. ....	33
Figura 25 – Avaliação de conhecimentos por turno. ....	34
Figura 26 – Exemplo de impacto da atuação do operador na variabilidade do processo.....	35
Figura 27 – Gráfico da variabilidade no momento (esquerda) e 2 horas mais tarde (direita). .	35
Figura 28 – Eficiência a Quente: antes e depois.....	38
Figura 29 – Rejeição nas MIL: antes e depois.....	39
Figura 30 – Rendimento de Fábrica: antes e depois.....	39
Figura 31 – N° de defeitos críticos detetados. ....	40
Figura 32 – N° de paletes rejeitadas por defeitos críticos.....	41
Figura 33 – % de unidades bloqueadas para controlo de qualidade devido a defeitos críticos. .....	42
Figura 34 – Produção de vidro por setor na União Europeia. ....	51
Figura 35 – Estrutura atual do grupo BA Vidro. ....	52

Figura 36 – Cronograma do Projeto. ....	53
Figura 37 – Exemplos de alertas da “Vista Geral” da consola. ....	56
Figura 38 – Menus gerais do XMIS. ....	57
Figura 39 – Exemplos de relatórios do XMIS. ....	58
Figura 40 – Matriz de prioridades e impactos do projeto. ....	59
Figura 41 – Relatório de consulta dos operadores na consola. ....	61
Figura 42 – Esquema com detalhe do processo de queda da gota no molde de principiar. ....	62
Figura 43 – Identificação da distribuição seguida pelos dados recolhidos. ....	63
Figura 44 – Análise à capacidade com base na variabilidade total e dentro de cada subgrupo. ....	64
Figura 45 – Análise à capacidade baseada na distribuição normal. ....	64
Figura 46 – Análise à capacidade baseada na distribuição normal após transformação de Johnson. ....	65
Figura 47 – Dados em bruto com contadores. ....	66
Figura 48 – Resultado após correr a Macro desenvolvida. ....	66
Figura 49 – Imagens de defeitos detetados pelo sistema na produção de vidro preto. ....	67
Figura 50 – Inconsistência no valor dos dois quadros do <i>software</i> IAFIS para a linha 41. ....	68
Figura 51 – Versão corrigida do IAFIS. ....	69

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Composição do vidro de embalagem.....	17
Tabela 2 – Elementos do sistema XPAR IR-D.....	20
Tabela 3 – Menus do sistema XPAR IR-D .....	23
Tabela 4 – Características dos modelos 1162 e 1262.....	26
Tabela 5 – Exemplo de verificação dos limites de rejeição. ....	36
Tabela 6 – Quadro resumo dos indicadores.....	38
Tabela 7 – Reclamações possivelmente evitadas com o sistema. ....	42
Tabela 8 – Vantagens e desvantagens do sistema. ....	44
Tabela 9 – Dados utilizados no cálculo dos <i>cash flows</i> .....	70
Tabela 10 – Ganhos de produção no cenário 1.....	70
Tabela 11 – Mapa de <i>cash flows</i> (CF) do cenário 1. ....	71
Tabela 12 – Período de Recuperação no cenário 1.....	71
Tabela 13 – Ganhos de produção no cenário 2.....	72
Tabela 14 – Mapa de <i>cash flows</i> (CF) do cenário 2. ....	72
Tabela 15 – Período de Recuperação no cenário 2.....	73
Tabela 16 – Ganhos de produção no cenário 3.....	73
Tabela 17 – Mapa de <i>cash flows</i> (CF) do cenário 3. ....	74
Tabela 18 – Período de Recuperação no cenário 3.....	74

## 1 Introdução

A qualidade assume-se hoje em dia como um dos pilares fundamentais na estratégia das organizações. Num momento em que o acesso a diferentes mercados é cada vez mais fácil, a qualidade representa um papel essencial como vantagem competitiva.

O controlo dos processos tem por isso sido alvo de crescente ênfase por parte das empresas industriais como meio de garantir a robustez dos seus processos internos e a qualidade dos produtos produzidos e entregues posteriormente aos clientes.

É precisamente no âmbito da garantia da satisfação dos clientes que surge o projeto apresentado neste trabalho. O projeto visa aferir a possibilidade de uma mudança de paradigma no funcionamento das linhas de produção da BA Vidro, S.A.: a implementação de um sistema de controlo de processo mais rigoroso e flexível que permita consultar a evolução das características das unidades produzidas. Este sistema foi instalado numa linha de produção piloto e o seu foco incidiu em três vertentes principais: manter a estabilidade do processo através da minimização da variabilidade, possibilitar o ajuste mais rápido nas máquinas de moldação de embalagens de vidro e reduzir drasticamente a incidência de defeitos críticos no produto final. Os defeitos críticos são aqueles que, chegando até ao consumidor final, podem causar danos ou ferimentos, e, em última instância, podem mesmo provocar a morte.

Pretende-se também com este projeto complementar o controlo estatístico do processo já existente e tornar o controlo do processo produtivo mais rigoroso, resultando num aumento da garantia de qualidade dos produtos.

### 1.1 Indústria Vidreira

A indústria vidreira assume-se extremamente diversificada em termos dos produtos fabricados e dos métodos utilizados, dividindo-se em diferentes setores que funcionam como indústrias independentes (Almada-Lobo 2007). Neste contexto, a indústria do vidro de embalagem assume-se como o setor mais relevante em termos de produção na União Europeia, representando mais de 60% do total produzido (ver Anexo A). Saliente-se que a União Europeia é o maior produtor de vidro a nível mundial, empregando mais de 46.000 pessoas e produzindo mais de 20 milhões de toneladas de embalagens de vidro por ano (FEVE 2009).

A indústria do vidro de embalagem tem como principais características endógenas a disponibilização intensa de capital requerida, a exigência da produção em massa e a necessidade de investimentos contínuos de grande dimensão, fatores estes que funcionam como uma barreira natural à entrada de novos concorrentes (Alves 2012). Desta forma, as empresas do setor que operam em Portugal caracterizam-se pelo seu posicionamento bem demarcado e conhecimento profundo da indústria: uma empresa com instalações apenas em Portugal, a Santos Barosa – Vidros, S.A., dois grupos ibéricos (a BA Vidro, S.A., de origem portuguesa, e a Vidrala, de origem espanhola) e um grupo internacional – a Saint-Gobain, através da marca Verallia. De destacar ainda a presença de um outro grupo internacional na península Ibérica, a O-I, uma das maiores empresas do setor a nível mundial, com 75 fábricas em 21 países.

## 1.2 Apresentação da BA Vidro, S.A.

O grupo BA Vidro, S.A. começou a sua atividade em 1912 sob a designação de “Barbosa e Almeida”, à data apenas como uma sociedade comercial de distribuição de garrafas de vidro, tendo a produção industrial própria apenas começado em 1930. O ano de 1947 destaca-se pela implementação de tecnologia automática de alimentação e moldação para o fabrico de embalagens.

O percurso da BA Vidro tem sido marcado por diversas aquisições e expansões. A sede do grupo localiza-se em Avintes (AV), Vila Nova de Gaia, onde opera uma unidade fabril desde 1969. Destacam-se ainda a compra da Companhia Industrial Vidreira (CIVE), situada na Marinha Grande, em 1993, a construção de uma fábrica em Villafranca de los Barros (Espanha) em 1998, a aquisição por meio de Oferta Pública de Aquisição da VILESA, com uma unidade fabril em León, Espanha, em 1999 e a aquisição do grupo Sotancro em 2008, que marcou a entrada do grupo nos segmentos de farmácia e cosmética.

Por fim, em 2012, foi adquirido o grupo polaco Warta Glass, ação que constitui um marco na expansão do grupo e na sua internacionalização e que veio, ao mesmo tempo, permitir ao grupo reforçar a sua posição no segmento de bebidas espirituosas. Na Figura 1 exibe-se a localização das sete fábricas que o grupo BA detém em Portugal, Espanha e Polónia.



Figura 1 – Localização das fábricas da BA Vidro, S.A.

O grupo tem sofrido diversas alterações no que toca à sua designação e estrutura interna, decorrentes das expansões acima mencionadas. O modelo atual da estrutura interna do grupo pode ser consultado no Anexo B.

## 1.3 Contextualização do Projeto na BA Vidro, S.A.

Nos últimos anos o setor vidreiro tem sido fortemente afetado por uma redução global dos preços de venda. Para combater este efeito apresentam-se várias soluções possíveis, passando por medidas de carácter imediato, das quais aumentar o volume de vendas é a mais óbvia, e outras de longo prazo, cuja importância é vital para a sustentabilidade do negócio. É nesta perspetiva que se integram quer o aumento dos índices de produtividade operacionais, quer a melhoria do serviço ao cliente e a sua satisfação – a produção e o transporte devem ser rápidos e flexíveis e, ao mesmo tempo, os produtos entregues devem cumprir as especificações exigidas.

A BA Vidro, doravante designada apenas por BA, como um dos mais destacados grupos europeus da indústria vidreira, tem também sido afetada por esta conjuntura de mercado. É neste âmbito que surge um projeto de implementação de um controlo do processo mais rigoroso

e flexível, que permita perceber em tempo real o estado da produção e tomar conhecimento de eventuais problemas de modo a que estes sejam imediatamente corrigidos, evitando a produção de produtos não conformes, ou seja, desperdício. Este controlo seria efetuado através da instalação de um sistema de inspeção e análise de dados, com recurso a duas câmaras colocadas na linha de produção. A partir das suas medições termográficas às embalagens acabadas de moldar, armazenamento de dados e respetiva análise, seria averiguado o estado do processo.

Contudo, é necessário perceber a viabilidade desta instalação pois, apesar de as potenciais vantagens associadas serem à partida uma mais-valia, o seu sucesso depende fortemente do envolvimento dos colaboradores, pelo que a sua formação e sensibilização para a utilização do equipamento influenciarão de forma determinante os resultados obtidos. Ao mesmo tempo, é essencial a obtenção de resultados concretos, de preferência quantificáveis, que justifiquem a compra do equipamento por parte da administração da BA. Trata-se de um investimento avultado e os procedimentos internos do grupo requerem, em geral, que gere retorno num período de dois anos. Neste sentido, foi decidido realizar um teste ao equipamento numa linha piloto da fábrica de Avintes.

Na verdade, este não é o primeiro sistema deste tipo no grupo BA. As fábricas polacas possuem cinco equipamentos semelhantes a este, adquiridos antes integração da Warta Glass no grupo, sendo que todos eles se encontram inativos. No entanto, dado terem sido negociados ao abrigo de incentivos estatais, estes não podem ser, por agora, transferidos para Portugal – daí a necessidade de recorrer a um novo equipamento para a fábrica de Avintes.

#### **1.4 Objetivos do Projeto**

Com o objetivo de facilitar a avaliação do trabalho realizado e fomentar uma abordagem focada, foram estabelecidos os seguintes objetivos no início do projeto:

- Estudar o comportamento e potencialidades do equipamento e relacioná-los com a otimização do processo produtivo;
- Validar estatisticamente a estabilidade do processo;
- Elaborar procedimentos/regras de trabalho para a utilização do equipamento;
- Realizar uma análise Custo-Benefício da sua aquisição.

#### **1.5 Metodologia seguida no Projeto**

Na fase inicial do projeto foi seguido um plano de integração na Empresa, que funcionou como uma adaptação ao ambiente industrial em questão. Pretendia-se também fornecer uma perspetiva geral sobre as diferentes áreas funcionais e processos envolvidos na produção de embalagens de vidro.

De forma a estabelecer desde o início um planeamento e controlo eficiente do projeto foi realizado um Cronograma do Projeto (apresentado no Anexo C). Neste documento foram incluídas as atividades críticas a realizar ao longo do mesmo, a sua duração, os participantes envolvidos e os documentos de validação de cada uma delas nas metas definidas previamente. É de realçar que este documento foi alvo de modificações ao longo do projeto, sempre que se considerou relevante alterar as durações das ações, quando foi alterada a sua data de concretização ou mesmo quando se decidiu criar novas ferramentas de validação.

#### **1.6 Estrutura do Documento**

O presente relatório divide-se em cinco capítulos distintos. No primeiro capítulo apresentou-se sumariamente o projeto e o seu contexto, expondo-se inicialmente a indústria vidreira, a Empresa onde foi desenvolvido e a conjuntura envolvente. De seguida são definidos os objetivos do projeto e a metodologia seguida na abordagem ao mesmo.

No segundo capítulo é feito um enquadramento teórico dos conceitos chave envolvidos no projeto, com vista a fundamentar o estudo e abordagem efetuada com conhecimentos sólidos e apresentar de forma breve a situação atual envolvente.

No terceiro capítulo apresenta-se com algum detalhe o processo produtivo associado às embalagens de vidro, sendo posteriormente abordado o sistema de controlo de processo utilizado no âmbito deste projeto e as suas potencialidades. De seguida, expõe-se a situação inicial encontrada na Empresa e contextualiza-se o projeto na procura da garantia de qualidade das unidades produzidas.

No quarto capítulo são definidos os indicadores de produtividade a estudar, explicada a abordagem seguida e apresentados os procedimentos criados para a utilização do equipamento, bem como as várias ações a desenvolver na linha para que a implementação seja possível. É depois analisado o impacto do sistema nos resultados de produção com base nas diversas variáveis consideradas e apresentada uma análise custo-benefício da sua implementação.

No quinto e último capítulo efetua-se uma análise crítica ao trabalho desenvolvido e são apresentadas sugestões de melhoria consideradas relevantes.

## 2 Enquadramento Teórico

Neste capítulo são abordadas as diversas áreas abrangidas no âmbito deste projeto. Os temas analisados são a Termografia, a Qualidade, o Controlo do Processo, o Controlo Estatístico do Processo e a Análise Custo-Benefício. Sobre cada um deles é feita uma breve revisão e exposição da literatura existente de modo a contextualizar o projeto na realidade atual.

Inicialmente foca-se a Termografia, de forma a explicar resumidamente em que consiste, como se consegue extrair informação a partir da sua leitura, as suas aplicações e, em particular, como pode ser utilizada no processo de análise das embalagens de vidro.

Seguidamente é introduzido o conceito de Qualidade, apresentando-se uma breve evolução histórica da sua conceptualização e explicando-se os principais pressupostos a si associados.

Posteriormente são abordadas as temáticas do Controlo de Processo e Controlo Estatístico do Processo, procedendo-se à exposição das suas principais funcionalidades e objetivos e de como podem ser implementados em ambientes industriais.

Por fim, é estudada a Análise Custo-Benefício, sendo referidos os seus fundamentos básicos e algumas das suas principais vantagens e desvantagens.

### 2.1 Termografia

A termografia é uma técnica que consiste na medição, através de câmaras infravermelhas, da temperatura de um qualquer objeto. Quanto maior a temperatura a que esse objeto se encontra, maior será a radiação infravermelha por si emitida (Snell e Stuart 2009). Esta técnica é amplamente utilizada em diversos setores, tais como a medicina, geologia, militar ou a indústria, pois permite a execução de diagnósticos ou leitura das temperaturas de forma não-invasiva (Ircon 2015).

É relevante explicar, antes de mais, o que é a radiação infravermelha. O espectro eletromagnético (Figura 2) é composto por diferentes tipos de radiação, que se diferenciam entre si pela quantidade de energia, comprimento de onda ou frequência das ondas eletromagnéticas associadas (NASA 2013). Apenas uma pequena parte do espectro eletromagnético é visível para os seres humanos – a chamada radiação visível.

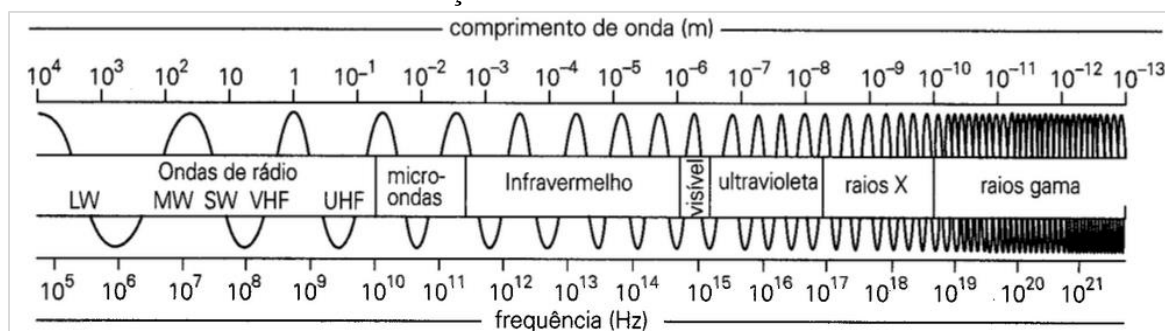


Figura 2 – Espectro Eletromagnético.

Adaptado de (Portugal 2007).



A radiação infravermelha situa-se entre a radiação visível e as micro-ondas. A sua presença no dia-a-dia reflete-se pela forma de calor: o calor proveniente do sol, do fogo, de um radiador ou aquele que provém de um aparelho a elevada temperatura mesmo sem contacto (FLIR Systems 2015).

No caso da indústria vidreira, e na indústria do vidro de embalagem em particular, a exploração das potencialidades dos métodos termográficos para o controlo do estado do sistema não é recente (empresas como a XPAR Vision, a LAND ou a optris são alguns exemplos). Este controlo é realizado através de termómetros ou câmaras com tecnologia infravermelha que medem a temperatura e a sua distribuição em diversos componentes e maquinaria, já que a temperatura é um fator decisivo do processo produtivo associado à produção de embalagens de vidro.

Com base em profunda pesquisa e nos inúmeros avanços científicos que foram ocorrendo no campo da radiação infravermelha ao longo do século XX, foi possível obter uma aproximação da relação existente entre a intensidade da radiação emitida por uma embalagem e a espessura dessa embalagem. Esta relação, segundo a XPAR Vision, é explicada na equação (2.1).

$$I = k (1 - e^{-\alpha d}) \times CN_{\lambda}(T) \quad (2.1)$$

Onde:

I, é a intensidade da radiação

k, coeficiente associado à geometria da câmara

$\alpha$ , coeficiente de absorção espectral do vidro

d, é a espessura da embalagem de vidro

$\lambda$ , é o comprimento de onda,

$CN_{\lambda}(T)$ , é a intensidade de radiação de um corpo negro segundo Max Planck, e

T, é a temperatura do corpo

A contribuição de Max Planck no campo da radiação de energia no início do século XX conduziram ao desenvolvimento da Física Quântica e a que lhe fosse atribuição do Prémio Nobel da Física em 1918 (APS 2002). A formulação para o cálculo da intensidade de radiação de corpos negros segundo Max Planck (Vlasak 2001) para materiais com um coeficiente de absorção conhecido depende apenas da sua temperatura, como se mostra na equação (2.2):

$$CN_{\lambda}(T) = \frac{hc^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{\left(e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1\right)} \quad (2.2)$$

Onde:

T, temperatura do corpo

h, a constante de Planck

c, a velocidade da luz

$\lambda$ , é o comprimento de onda, e

k, a constante de Boltzmann

A verificação da relação entre a intensidade de radiação e a espessura pode ser então feita recorrendo à equação (2.1) e a sua aplicação no primeiro membro da equação (2.3).

$$\frac{\Delta I}{I} \approx \frac{\Delta d}{d} \quad (2.3)$$

No Anexo D apresenta-se a demonstração da aproximação apresentada na equação (2.3 recorrendo-se a aproximações com base num polinómio de Taylor e é também calculada a majoração do erro associado aos cálculos.

## 2.2 Qualidade

O conceito de qualidade tem sido alvo de um intenso debate ao longo do último século, tendo evoluído de uma simples conceptualização do que são as características desejáveis para os produtos ou serviços para uma noção muito mais abrangente e complexa. Uma definição tradicional de qualidade pertence a Juran e Godfrey (1999) que a definiram como “aptidão ao uso”. Esta definição baseia-se na premissa de que os produtos e serviços devem respeitar os requisitos daqueles que os utilizam, quer em termos de *design*, quer de conformidade. A qualidade tornou-se uma das mais importantes variáveis de decisão na comparação entre produtos e serviços concorrentes, seja qual for a indústria ou setor em causa. Daí a crescente importância de perceber, garantir e melhorar a qualidade de forma a atingir o sucesso e sustentabilidade dos negócios (Montgomery 2009). A complexidade do conceito de qualidade está bem patente na formulação de Garvin (1987) que sumariza qualidade a oito dimensões diferentes: performance, fiabilidade, durabilidade, facilidade de manutenção, estética, características, qualidade perceptível e conformidade com as especificações.

Todas estas dimensões têm, porém, um denominador comum: todas elas estão associadas à perspetiva do cliente e à sua satisfação. O cliente é definido como todo aquele é afetado por um produto ou processo, podendo ser distinguidas duas categorias de clientes: clientes externos e clientes internos. Os clientes externos incluem não só os consumidores finais mas também os intermediários envolvidos na sua comercialização. Os clientes internos são todos aqueles que pertencem a divisões e departamentos da Empresa participantes no processo produtivo, quer seja através da montagem de componentes, quer, por exemplo, da compra das matérias-primas especificadas. Por último, os fornecedores devem também ser considerados no planeamento da qualidade como extensões dos clientes internos, já que as suas necessidades devem ser compreendidas e satisfeitas para que a qualidade seja garantida. Pode-se assim definir qualidade como “a satisfação dos clientes” (Juran e Gryna 1993).

Pertence a Montgomery (2009) uma outra definição, esta mais matemática, de qualidade: “A qualidade é inversamente proporcional à variabilidade”. A variabilidade é a causa subjacente das diferenças de fiabilidade e qualidade registadas na produção de qualquer produto. Na análise da variabilidade é importante considerar alguns princípios fundamentais que lhe estão associados (Chapman 1994):

- Não há dois objetos exatamente iguais;
- A variabilidade pode normalmente ser medida;
- Valor de pontos específicos dos dados não são previsíveis;
- Os conjuntos de dados formam padrões com características definidas;
- Existem dois tipos de variabilidade: a aleatória e a atribuível.

Relativamente a este último tópico acima mencionado, realça-se que enquanto o primeiro tipo é o resultado de mudanças inerentes ao processo, tais como vibrações dos materiais ou condições atmosféricas, e está invariavelmente presente nos processos produtivos, o segundo, por sua vez, remete para os erros corrigíveis que decorrem de mudanças nos procedimentos, velocidade dos instrumentos, erros humanos ou danos nos equipamentos. É esta última variante de variabilidade que está no foco das melhorias a implementar nos sistemas com o intuito de diminuir a variabilidade total dos mesmos e consequentemente aumentar a qualidade dos produtos ou serviços. A descrição da variabilidade de um processo ou produto é apenas possível recorrendo a métodos estatísticos, tornando-os ferramentas essenciais para a melhoria da qualidade.

A atenção dedicada pelas organizações à qualidade dos seus produtos e serviços prende-se, em grande parte, com os custos da não qualidade. A qualidade funciona como suporte na identificação e eliminação das causas de erros, contribuindo para a redução de custos através do aumento da produtividade e ao evitar a necessidade de refazer a produção (Juran e Gryna 1993). Neste sentido as organizações tornam-se também mais capazes de cumprir o seu planeamento, funcionando como uma melhoria do trinómio de competitividade “qualidade, custo e rapidez” (Imai 2012). É da autoria de Philip Crosby, uma referência na área da gestão da qualidade, a afirmação:

*“A qualidade é grátis. Não é uma oferta mas é grátis. O que custa dinheiro é a falta de qualidade.” (Crosby 1979).*

Crosby pretendia contrariar a ideia comum de que a qualidade implica necessariamente um aumento dos custos. Considerando a qualidade na perspetiva de “conformidade com as especificações”, é possível obter uma maior qualidade tendo menos custos, ao estabelecer processos de trabalho mais eficientes, um melhor sistema de gestão da qualidade e uma melhor organização. Tais medidas contribuem para uma menor variabilidade e maior satisfação dos clientes e, conseqüentemente, uma maior qualidade global. Os custos da qualidade podem ser divididos em dois grandes grupos: custos da não qualidade e custos de obtenção da qualidade. Na Figura 3 apresentam-se as quatro categorias de custos da qualidade segundo a norma NP 4239:1994, as mesmas que foram sugeridas por Juran e Gryna (1993).

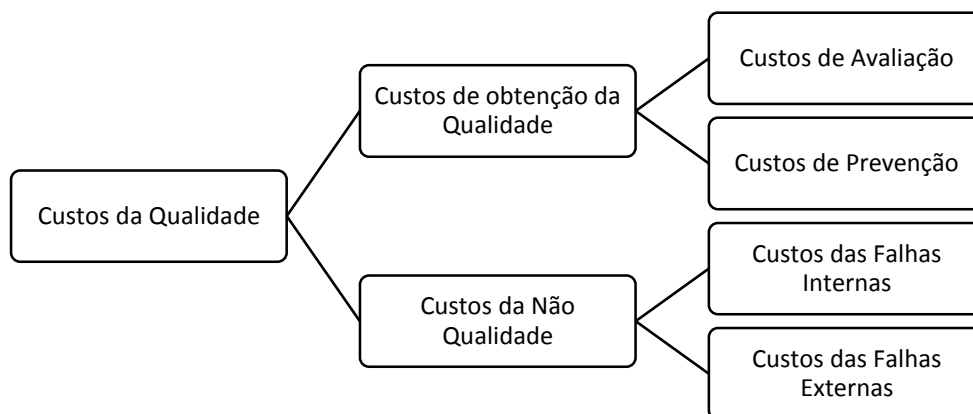


Figura 3 – Custos da Qualidade.

Os custos da não qualidade devem-se a falhas internas ou falhas externas, estando associados à fase do processo em que é detetado o defeito. Os primeiros são detetados dentro da empresa (rejeições ou reparações), já os segundos são detetados após a entrega do produto ao cliente (devoluções, garantia, indemnizações). É aos custos decorrentes da não qualidade que Crosby se refere na última parte da sua afirmação.

Os custos de obtenção da qualidade podem ter origem na avaliação: ensaios e testes realizados com vista à avaliação da qualidade dos produtos; ou na prevenção: as atividades que visam prevenir a ocorrência de defeitos.

Todos os custos da qualidade referidos anteriormente são explícitos e relativamente fáceis de identificar e quantificar (Faria 2014). Porém, a não qualidade origina muitos outros custos “escondidos” cuja identificação e medição é difícil mas que podem ter uma magnitude significativa nas organizações. Entre estes custos “escondidos” incluem-se tipicamente os seguintes:

- Vendas potenciais perdidas, causadas pela insatisfação dos clientes;
- Horas extra de trabalho desnecessárias;
- Custos de tratamento das reclamações;
- Atrasos nas encomendas;

- Acumulação de inventário obsoleto;
- Custos extra associados a defeitos, incluindo espaço de armazenamento devido a elevados *stocks* de segurança, mudanças de inventário, transporte adicional e tempo perdido.

Os custos da não qualidade, aqueles em que as empresas incorrem devido à falta de qualidade dos seus produtos, são consideráveis e aqueles que são explícitos representam apenas a ponta de um *iceberg* (Figura 4).



Figura 4 – Custos escondidos da qualidade.

Adaptado de (Juran e Gryna 1993).

O planeamento da qualidade, a sua gestão e implementação a nível global nas organizações são disciplinas da Gestão da Qualidade Total (GQT). A GQT surgiu no início dos anos oitenta e o conceito foi evoluindo ao longo dos anos, aumentando o espectro de atuação e envolvendo cada vez mais atividades, sempre com o objetivo de melhorar a qualidade global. Montgomery (2009) explica o sucesso moderado desta estratégia por parte das organizações com a sua falta de comprometimento no uso generalizado das ferramentas que ela exige, a falta de envolvimento das chefias, o uso inadequado dos métodos estatísticos e o foco em objetivos globais ao invés de pontos específicos para cada área de trabalho.

Por fim, referir a crescente importância que as certificações de qualidade têm vindo a adquirir na última década. A globalização dos mercados tornou mais prementes as questões relativas à qualidade dos produtos. Embora grande parte das empresas modernas e competitivas invistam na qualidade, a normalização e certificação por entidades externas é importante para a garantia de qualidade com vista ao reconhecimento da mesma, principalmente para a penetração em novos mercados mais exigentes e satisfação das expectativas dos clientes (AEP 2006). A norma ISO 9001 refere os requisitos de um sistema de gestão da qualidade de uma organização com vista a uma implementação séria e reconhecida a nível mundial. A sua finalidade última é garantir que os clientes obtêm produtos e serviços consistentes e de boa qualidade (ISO 2015).

### 2.2.1 Controlo do Processo

O primeiro objetivo de um sistema de gestão da qualidade passa por garantir a qualidade dos produtos entregues aos clientes: estes devem respeitar as especificações exigidas. A abordagem tradicional de garantia da qualidade consiste no controlo do produto final (Faria 2014). No entanto esta metodologia apresenta limitações:

- Custo elevado – envolve custos de inspeção e retrabalho;
- Demorado – introduz atrasos na entrega dos produtos;
- Tardio – quando um defeito é detetado já foram produzidos muitos produtos com o mesmo defeito.

Além dos aspetos negativos já mencionados, acresce-se ainda a ineficácia do controlo efetuado. Nem sempre é possível efetuar inspeções a 100% dos produtos, os planos de inspeção podem conter erros, os equipamentos de medição podem não estar bem calibrados e podem ser cometidos erros humanos ao longo do controlo. De acordo com Deming (2000) nos seus 14 pontos a seguir pela gestão das organizações, a inspeção ocorre tipicamente demasiado tarde no processo, é cara e frequentemente ineficaz. O controlo do produto final através da inspeção em massa apenas permite detetar os produtos defeituosos e nessa altura a organização já pagou a produção desse defeito. A abordagem do controlo do produto final baseia-se na deteção e correção dos defeitos *a posteriori*, tolerando o desperdício (Iberogestão 2014).

Foi neste contexto que surgiu uma nova abordagem designada por controlo dos processos. Esta coloca a ênfase na prevenção dos defeitos ao invés da sua deteção e correção, e visa um controlo distribuído ao longo das sucessivas operações do processo produtivo, em oposição ao controlo exclusivo do produto acabado (Faria 2014).

Apesar dos conceitos subjacentes ao controlo dos processos serem simples e intuitivos, a sua aplicação prática é complexa. Para a implementação de um sistema de controlo dos processos é essencial um conhecimento profundo acerca dos mesmos, o que envolve, numa primeira fase, o seu levantamento, ou seja, a identificação de todos os processos presentes (Faria 2014). Seguidamente, e para cada processo, devem ser identificadas as causas de defeitos existentes para que seja possível o seu controlo ao longo do tempo, e a eliminação sistemática dessas causas (Montgomery 2009). Para um eficaz controlo dos processos é fundamental a documentação dos procedimentos e instruções de trabalho, bem como a introdução de mecanismos de verificação que comprovem o seu cumprimento.

Juran e Gryna (1993) referem o autocontrolo como um outro conceito fundamental que se deve procurar implementar para garantir um eficaz controlo dos processos. Se o trabalho está organizado de maneira a que cada pessoa tenha as condições e formação necessárias para executar o seu trabalho corretamente, sendo flexíveis e polivalentes, e deste modo atingir os resultados esperados, considera-se que essa pessoa deve desempenhar o seu autocontrolo e será responsável pelos resultados produzidos. Este conceito é universal e transversal a toda a organização, desde os gestores de topo até cada um no seu posto de trabalho.

### 2.2.2 Controlo Estatístico do Processo

Para que um sistema de controlo de processos seja implementado eficazmente terá de recorrer à utilização de técnicas estatísticas. As decisões para alteração ou ajuste dos processos devem ser baseadas em dados estatísticos, para que a qualidade e produtividade sejam melhoradas de forma eficiente (Chapman 1994).

Tal como foi mencionado previamente na secção 2.2, a variabilidade está intrinsecamente associada à não qualidade e o seu estudo requer o uso de métodos estatísticos. O controlo estatístico do processo é uma técnica estatística que aplicada à produção permite a redução sistemática da variabilidade das características da qualidade em foco, contribuindo desta

maneira para a melhoria da qualidade inerente ao produto, da sua confiabilidade e do seu custo de produção. Numa conjectura competitiva, o controlo estatístico do processo abre caminho para a melhoria contínua pois permite alcançar um processo estável e mais previsível cuja evolução pode ser facilmente acompanhada (Iberogestão 2014).

As características da qualidade são avaliadas geralmente relativamente a especificações – as medidas desejadas para essas características, que são definidas previamente para cada componente do produto final, por vezes mesmo definidas pelo cliente. No caso dos serviços, as especificações remetem tipicamente para o tempo de processamento dos pedidos ou o tempo de execução do próprio serviço (Montgomery 2009). Para cada característica de qualidade existe, normalmente, um valor de medida desejável, denominado valor nominal ou valor objetivo. Este valor está contido num intervalo de valores que são considerados como estando suficientemente próximos desse valor nominal e não afetam por isso a performance do produto – a variabilidade é inevitável, no entanto poderá ser admissível. Os limites deste intervalo confinam a variabilidade tida como aceitável e são designados por limite superior de controlo e limite inferior de controlo, o maior e o menor valor para essa característica, respetivamente. Em alguns casos existe apenas um limite (superior ou inferior).

Enquanto os valores individuais podem ser todos diferentes, quando agrupados tendem a formar um padrão que pode ser descrito através de uma distribuição, cujos parâmetros chave – localização, dispersão e forma – determinam a presença de estabilidade (Iberogestão 2014). Quando estes dados são consistentes ao longo do tempo e a sua variância inerente (capabilidade do processo) é inferior à tolerância das especificações, considera-se o processo estável ou em controlo estatístico.

A implementação de um sistema de controlo estatístico do processo exige conhecimentos estatísticos para que seja bem-sucedida e segue um conjunto de etapas para que seja realizado um estudo estatístico de tratamento da informação, apresentadas na Figura 5.



Figura 5 – Etapas do controlo estatístico do processo.

Adaptado de (Iberogestão 2014).

Uma das ferramentas mais amplamente utilizadas a propósito do controlo estatístico de processos são as cartas de controlo (Figura 6), introduzidas por Walter Shewhart em 1924 (Montgomery 2009). Esta técnica permite demonstrar a evolução de sistemas ao longo do tempo, apresentando elementos simples como linha central e os limites de controlo definidos, permitindo também perceber como o processo está a progredir em tempo real. As cartas de controlo podem incidir sobre a medida das características ou sobre a contagem de peças defeituosas – o controlo por variáveis ou por atributos, respetivamente. Desta forma, quando fontes de variabilidade anormais estão presentes, tal reflete-se na carta de controlo com os dados a ultrapassar os limites de controlo. O objetivo é utilizar esta informação para que sejam identificadas as causas de variabilidade e, posteriormente, tentar a sua eliminação para que o processo fique mais estável, ou seja, com uma menor variabilidade.

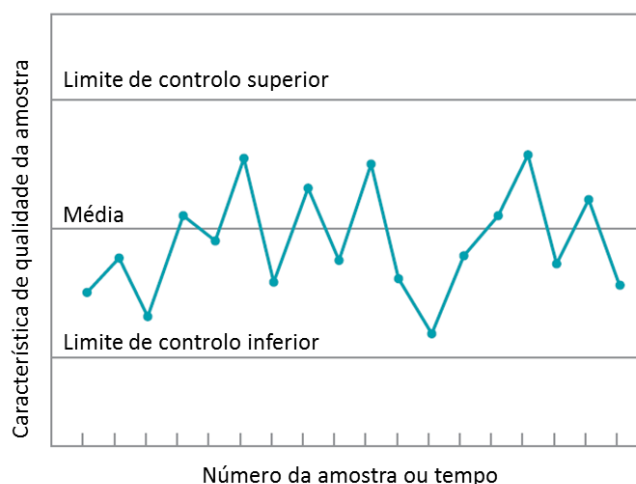


Figura 6 – Exemplo de carta de controlo.

Adaptado de (Montgomery 2009).

O sistema de controlo estatístico do processo baseia-se, geralmente, na inspeção por amostragem, operada ao longo do processo produtivo. A partir destes dados (amostra) é caracterizado um conjunto elevado de valores (o total da população) através de inferência estatística. Funciona como uma radiografia desse processo e permite identificar e quantificar a sua variabilidade possibilitando o seu controlo ao longo do tempo através da recolha contínua de dados (Iberogestão 2014).

## 2.3 Análise Custo-Benefício

*“A escassez é um facto básico da vida económica.” (Frank e Bernanke 2003).*

O princípio da escassez enuncia que embora as necessidades e desejos de cada pessoa sejam infinitos, os recursos de que dispõe são limitados. Tal conjectura dita que o simples facto de existir escassez torna necessárias as escolhas, escolhas estas que envolvem o compromisso entre interesses concorrentes – o *trade-off* (Frank e Bernanke 2003).

Estes *trade-offs* são generalizados e frequentes mesmo em situações simples do dia-a-dia. No entanto, estes problemas de decisão podem ser resolvidos recorrendo à análise custo-benefício, que tem por base o simples princípio de que uma ação deve ser desenvolvida se, e só se, os benefícios daí decorrentes forem pelo menos tão grandes quanto os respetivos custos adicionais. Em suma, o excedente económico (benefício menos o custo) associado a uma ação deve ser positivo para que esta seja executada. Esta simples ferramenta de suporte à tomada de decisões é utilizada amplamente, nos mais diversos setores (Sen 2000).

Os *trade-offs* são comuns na elaboração de planos estratégicos das organizações, especialmente os seus objetivos competitivos. Silveira e Slack (2001) exploram a aplicação e uso de *trade-offs* em cinco casos de estudo baseados em empresas industriais e comprovam a sua presença no processo de decisão do dia-a-dia. Estes existem principalmente sob a forma de compromissos entre dimensões de performance como qualidade, custo, fiabilidade e flexibilidade. Estas dimensões são, segundo Ferdows e De Meyer (1990), fundamentais para o sucesso de um produtor, sendo essencial a sua combinação estratégica para a obtenção de vantagens competitivas. A capacidade de focar e gerir estas múltiplas prioridades simultaneamente pode resultar por vezes em sacrifícios da performance global, mas nem sempre estas são incompatíveis, podendo, por exemplo, melhorias na qualidade conduzir a melhores resultados em termos de custos e flexibilidade (Rosenzweig e Easton 2010). Apesar

de desejáveis, estas sinergias entre as dimensões competitivas nem sempre são alcançáveis. New (1992) sugere também que, apesar de alguns *trade-offs* entre pares de dimensões competitivas poderem ser ultrapassados através do recurso a novas metodologias de produção e novas tecnologias, outros (tais como o existente entre conformidade com as especificações dos produtos e o custo) não podem, devido à sua natureza, ser ultrapassados.

A grande dificuldade aquando da aplicação da regra do custo-benefício prende-se com a forma de medir os benefícios e custos relevantes. São raros os casos em que é possível encontrar facilmente medidas monetárias adequadas e neste sentido a perspetiva do custo-benefício funciona como uma ajuda na estruturação do pensamento, mesmo em situações em que não se dispõe de suficiente informação de mercado.

A aplicação do princípio custo-benefício requer portanto medições. O benefício de uma ação é expresso pelo seu preço de reserva, o máximo que se estaria na disposição de pagar para a execução dessa mesma ação. Por outro lado o custo de uma dada ação é o valor do que é sacrificado para a sua realização (Frank e Bernanke 2003).

Em economia os conceitos de investimento e princípio custo-benefício estão intrinsecamente associados. Dixit e Pindyck (1994) definem investimento como o ato de incorrer num custo imediato com vista à obtenção de recompensas futuras, uma definição que segue a mesma lógica da referida para o custo-benefício. Os autores afirmam ainda que a maioria das decisões de investimento partilham três importantes características: irreversibilidade, incerteza e momento. A irreversibilidade deve-se ao facto de o custo inicial envolvido no investimento ser, pelo menos em parte, um custo afundado, ou seja, não poderá ser recuperado. A incerteza remete para impossibilidade de garantir os proveitos futuros, aos quais está associado uma componente de probabilidade cuja magnitude pode ser maior ou menor. Por último, o momento refere-se à possibilidade de decidir quando será feito o investimento, havendo geralmente alguma margem de manobra para o poder adiar de forma a recolher mais informação.

Os projetos de investimento reais, em particular, remetem para o investimento em ativos não correntes usados direta ou indiretamente na produção ou comercialização de bens ou serviços e opõem-se aos investimentos financeiros (Lopes 2012).

O objetivo dos investimentos reais é transformar disponibilidades (meios financeiros líquidos) detidas em ativos de carácter não corrente que possam gerar disponibilidades superiores no futuro, ou seja, o excedente económico já mencionado anteriormente. O prazo de retorno é variável e depende da natureza do projeto em causa. Na Figura 7 apresenta-se um esquema dos fluxos associados às decisões de investimento.

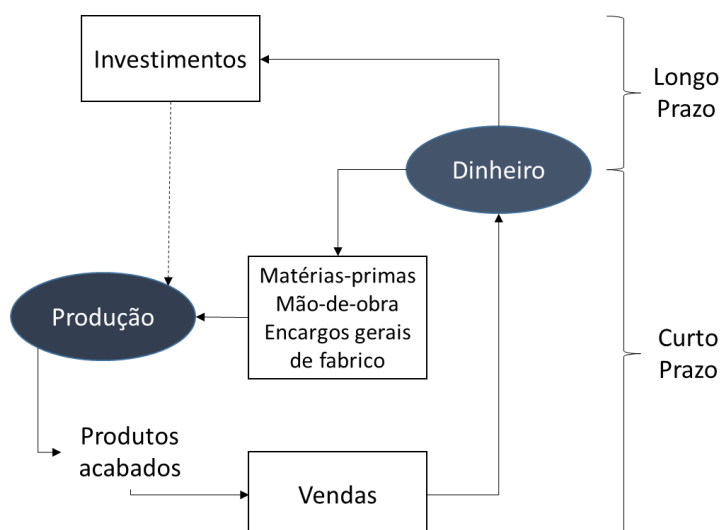


Figura 7 – Fluxo das decisões de investimento.

Adaptado de (Lopes 2012).



De acordo com Lopes (2012) e Peterson e Fabozzi (2002) os investimentos podem ser classificados quanto ao seu objetivo em:

- Investimentos de substituição ou reposição  
Visam repor a capacidade produtiva da empresa quando termina a vida útil dos equipamentos, substituindo-os por equipamentos com as mesmas características. Não há alterações na produção;
- Investimentos de modernização ou racionalização  
Procuram melhorar a capacidade produtiva da empresa, ao optar por equipamentos novos para substituir os usados e alcançar maiores níveis de produção ou produção mais eficiente;
- Investimentos de expansão  
Visam o aumento da capacidade produtiva da empresa, de forma a atender novos mercados, clientes ou aumentos da procura;
- Investimentos de inovação  
Trata-se de investimentos associados ao lançamento de novos produtos com o objetivo de diversificação. Ocorre uma rutura com as áreas tradicionais da empresa;
- Investimentos estratégicos  
Procuram criar condições favoráveis à empresa no futuro, sendo geralmente investimentos de curto prazo que geram mais desembolsos do que entradas de dinheiro, podendo ser mesmo exclusivamente desembolsos. No entanto, poderão permitir às empresas vantagens tais como a entrada em novos mercados, desenvolvimento de novos produtos ou reorganização de *software*. A quantificação dos *cash flows* de entrada torna-se mais difícil;
- Outros investimentos  
Como por exemplo aqueles que são exigidos por leis governamentais ou agências reguladoras.

Resumindo, os investimentos são feitos pelas empresas com diferentes motivações, no entanto o raciocínio utilizado é semelhante: o resultado final deve implicar sempre um benefício maior do que os custos incorridos, mesmo que por vezes esse benefício possa ser intangível.

Na avaliação de projetos de investimento são utilizados os *cash flows* monetários associados ao projeto para aferir a sua rentabilidade. Estes incluem os *cash flows* de exploração (fluxos recebidos ou desembolsados associados ao pagamento e recebimento dos gastos e rendimentos da exploração) e os *cash flows* de investimento (associados aos desembolsos com investimentos). Os *cash flows* totais (ou líquidos) de um projeto resultam da soma destas duas componentes. A análise de projetos é feita com base em *cash flows* incrementais, ou seja, considerando todos os fluxos de entrada e saída induzidos pelo projeto – um diferencial (Lopes 2012).

São inúmeros os critérios de decisão existentes na teoria financeira para a avaliação e seleção de projetos. Estes dividem-se em duas categorias principais: critérios contabilísticos e critérios baseados na atualização de fluxos. Os primeiros ignoram o custo do capital, mas são utilizados devido à sua simplicidade como indicadores da rentabilidade dos projetos. São exemplos a Taxa de Retorno Contabilística e o Período de Recuperação. Os segundos critérios mencionados contabilizam o valor temporal do dinheiro e são mais consentâneos com a teoria financeira. Alguns exemplos destes indicadores são o Valor Atual Líquido, Taxa Interna de Rentabilidade, Índice de Rentabilidade ou o Período de Recuperação Atualizado (Lopes 2012). Este último, em particular, é utilizado como indicador de liquidez e, ainda que grosseiro, do risco associado ao projeto. Caracteriza-se também pela sua facilidade de utilização e é considerado um método eficaz na avaliação de projetos a curto prazo. A sua principal desvantagem está associada a esta mesma característica, uma vez que o método não tem em conta os *cash flows* gerados depois

de recuperados os capitais investidos. Distingue-se da sua variante mais simples por ponderar o custo do capital envolvido e a consequente atualização dos *cash flows* (Caldeira 2001). Esta atualização pode ser feita com recurso a diferentes metodologias, como o *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) ou o Custo Médio Ponderado de Capital. Em geral, as empresas possuem valores definidos internamente para a rentabilidade dos seus capitais dependendo da área de negócio em que os investimentos se inserem.

### 3 Análise Inicial da Empresa

No sentido de compreender o contexto no qual o presente projeto se insere, analisam-se neste capítulo os principais elementos associados à sua exequibilidade.

Inicia-se a análise apresentando de forma sucinta o processo produtivo das embalagens de vidro e os diferentes subprocessos que lhe são intrínsecos.

Posteriormente, é feita a exposição do sistema XPAR IR-D explicando-se em que consiste, qual o equipamento que o constitui e a respetiva função desempenhada, e algumas das suas funcionalidades.

Por fim, relata-se o estudo realizado à situação prévia à implementação do sistema de controlo de processo na Empresa. Mencionam-se os principais objetivos a cumprir com este projeto, as vantagens e desvantagens esperadas deste novo recurso e as circunstâncias inerentes à sua introdução.

#### 3.1 Processo Produtivo

O processo produtivo de embalagens de vidro é constituído por diversas etapas que se agrupam em três subprocessos principais e ainda um subprocesso de suporte: a decoração. De notar ainda que o termo “embalagem de vidro” abrange todo o tipo de recipiente de vidro produzido nesta indústria desde frascos a garrafas, independentemente do tamanho. O processo que se explica de seguida é comum para todas as embalagens de vidro (Figura 8).

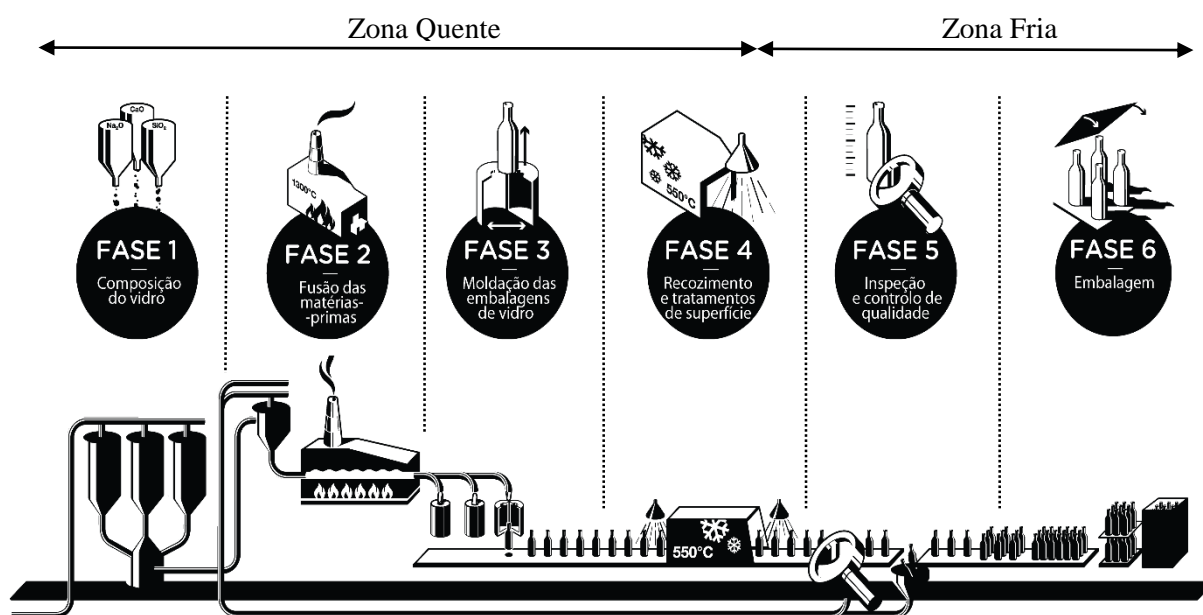


Figura 8 – Processo Produtivo.

Adaptado de (Alves 2012).

O processo inicia-se com a composição do vidro. Nesta fase armazenam-se, doseiam-se e misturam-se as diferentes matérias-primas com o objetivo de compor a massa a vitrificar, que seguirá para os fornos, onde ocorre a fusão. A composição básica do vidro de embalagem é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição do vidro de embalagem.

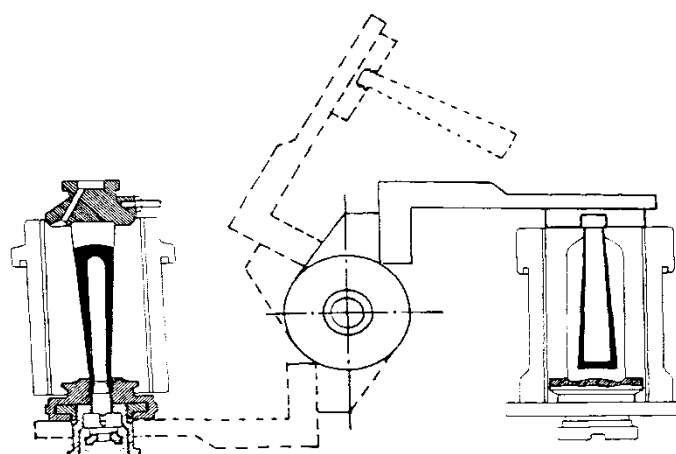
Elemento	% do Total
<b>Sílica (SiO<sub>2</sub>)</b>	70 - 72
<b>Sódio (Na<sub>2</sub>O)</b>	12 - 14
<b>Cálcio (CaO)</b>	9 - 11
<b>Magnésio (MgO)</b>	0 - 3
<b>Alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	1 - 2
<b>Potássio (K<sub>2</sub>O)</b>	0 - 1

Para obter o vidro com esta composição são incorporadas na “receita” matérias-primas como areia, carbonato de sódio, calcário, outros componentes em quantidades mais residuais, designados de corantes e afinantes, e ainda vidro reciclado (“casco”). Este último pode ser proveniente de reciclagem interna e/ou externa depois de tratado e moído. Depois de analisadas as suas propriedades, as matérias-primas são armazenadas em silos, onde são pesadas. É esta mistura de constituintes em quantidades variáveis que define a cor do vidro, que varia entre o preto, o âmbar, diversas tonalidades de verde até ao branco.

A mistura segue posteriormente para os fornos onde é fundida a temperaturas que variam geralmente entre 1500 e 1600°C. A capacidade dos fornos é variável e medida em toneladas/dia, podendo atingir as 650 toneladas por dia (Almada-Lobo 2007).

O vidro fundido em cada forno é repartido por canais de acordo com o número de linhas de produção que lhe correspondem. No final dos canais, o vidro fundido cai continuamente sob a forma de fio, sendo cortado em porções cujo peso varia de acordo com a dimensão da embalagem de vidro a ser produzida – as gotas. As gotas são distribuídas para as várias secções das máquinas de moldação, chamadas máquinas *Individual Section* (IS). As máquinas IS devem o seu nome ao facto de cada uma das secções constituintes funcionar de forma independente das restantes, incorporando todos os componentes necessários para a moldação das embalagens, sendo possível parar cada uma delas sem afetar as outras. Atualmente o número de secções deste equipamento varia entre oito e vinte. Cada secção é constituída por um determinado número de cavidades, que pode variar entre apenas uma até a um máximo de quatro. O número de cavidades existentes numa secção define o número de embalagens moldadas simultaneamente, recebendo cada uma delas uma gota de vidro fundido. O número de gotas varia desde gota simples, dupla, tripla ou quádrupla, para uma, duas, três ou quatro cavidades por secção, respetivamente.

A moldação de um artigo realiza-se em duas fases: na primeira o vidro é introduzido no “molde de principiar” localizado num dos lados da máquina, onde adquire a forma inicial (pré-forma); na segunda fase, a pré-forma é transferida (num movimento que dá pelo nome de inversão) para um “molde final” localizado do lado oposto da máquina IS onde toma a forma final pretendida (Figura 9). Na Figura 10 apresenta-se uma imagem exemplificativa de uma máquina IS e os seus constituintes.



Molde de Principiar

Molde Final

Figura 9 – Movimento de Inversão nas máquinas IS (vista de perfil).

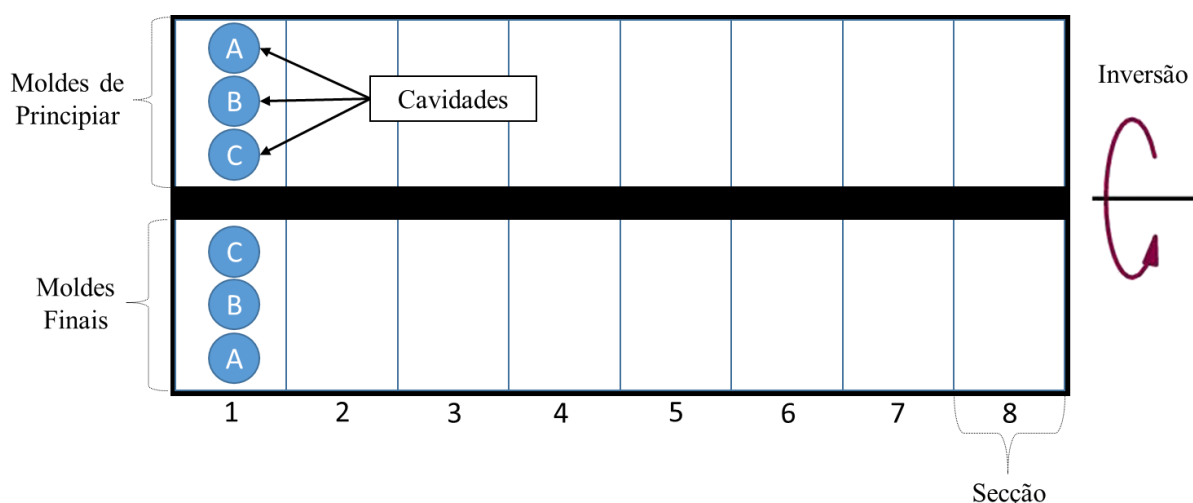


Figura 10 – Representação de Máquina IS de 8 secções e gota tripla (vista de cima).

Notar ainda que existem dois tipos principais de processos de fabrico de embalagens de vidro: Soprado-Soprado (SS) e Prensado-Soprado (PS). Existem ainda outros processos derivados destes dois, dos quais se salienta o “Narrow-Neck-Press-and-Blow” (NNPB) que consiste numa variante do processo PS para garrafas mais leves, de gargalo estreito.

Após a moldação, as embalagens de vidro são encaminhadas para um tapete transportador que as conduz ao longo de um túnel de aplicação do Tratamento de Superfície a Quente (TSQ) (consiste na pulverização de um composto de estanho, o  $C_4H_9SnCl_3$ ) de forma a conferir rugosidade à embalagem e permitir a absorção do tratamento seguinte. Seguidamente, as embalagens são colocadas, durante cerca de 45 minutos, na arca de recozimento para um arrefecimento gradual. Durante a moldação, o vidro contacta com as paredes dos moldes, cuja temperatura é mais baixa, criando um diferencial entre as temperaturas das camadas internas e externas e a consequente existência de tensões. O recozimento visa homogeneizar termicamente toda a massa vítrea e eliminar as tensões, aumentando a sua resistência. A área da fábrica até esta fase do processo é designada por Zona Quente.

Imediatamente a seguir à passagem pela arca, as embalagens recebem um novo tratamento, o Tratamento de Superfície a Frio (TSF), um polietileno. A sua finalidade é aumentar a resistência

a riscos e fratura, bem como melhorar o deslizamento entre embalagens e, por conseguinte, facilitar a sua deslocação ao longo da linha.

O tapete transportador conduz as embalagens ao longo da linha, onde são inspecionadas nas máquinas de inspeção em linha (MIL). Estas máquinas são responsáveis pela análise de defeitos e consequente rejeição das embalagens defeituosas. Se for considerada defeituosa, a embalagem é rejeitada e enviada para um circuito de reciclagem interna onde é moída e enviada, já como casco, para os silos de matérias-primas da composição. Refira-se que o controlo de qualidade nas MIL é feito à totalidade das unidades produzidas.

Terminada a inspeção das embalagens, as unidades que são consideradas conformes seguem para a paletização automática, onde são acondicionadas por camadas em paletes. Esta segunda área que abrange desde a aplicação do TSF à paletização é chamada de Zona Fria.

A decoração das embalagens ocorre, regra geral, posteriormente a todos estes subprocessos e numa área dedicada especialmente para o efeito, sendo necessário despaletizar as embalagens, decorar e paletizar de novo. Realce-se que a decoração de embalagens funciona num regime diferente da fábrica, recebendo também encomendas de clientes externos à BA.

### **3.2 Situação prévia**

Tal como foi analisado no capítulo anterior, a garantia de qualidade dos produtos fabricados é um tema complexo e determinante para as empresas industriais. A BA tem vindo a aplicar diferentes metodologias de controlo de qualidade ao longo do tempo, implementadas em todas as linhas de produção das suas fábricas.

#### **3.2.1 Controlo Estatístico do Processo**

O controlo estatístico do processo (CEP) abrange todos os produtos acabados produzidos na BA, com vista ao controlo de diversas características estruturais, dimensionais e de forma das unidades produzidas, tais como a sua verticalidade, controlos dimensionais a várias zonas, resistência à pressão interna e à rotura, capacidade, entre outros. Este controlo é realizado por amostragem e com base na realização de ensaios manuais ou automáticos, que variam de acordo com as características de cada produto e as exigências dos clientes. O CEP é composto por testes realizados quer na Zona Quente, quer na Zona Fria.

Na Zona Quente são realizados testes às características das embalagens produzidas, tais como a medição do seu peso, inspeções à verticalidade e horizontalidade e outros ensaios simples que incidem essencialmente nos seus atributos dimensionais. A impossibilidade de realizar mais testes nesta zona deve-se à fragilidade das embalagens antes do recozimento e à sua temperatura elevada (cerca de 500 a 600°C).

Já na Zona Fria, as embalagens testadas são recolhidas após a passagem na arca de recozimento e recebem o TSF, sendo efetuados novamente grande parte dos testes da Zona Quente. Tal explica-se pelo facto de só aí a unidade ser considerada finalizada e também por possíveis alterações dimensionais provocadas pela sua passagem na arca de recozimento. Para além disso, são também realizados outros ensaios, grande parte deles em laboratório, com vista a medir a resistência ao choque térmico, impacto, nível dos tratamentos (TSQ e TSF) aplicados e várias medições às características dimensionais.

#### **3.2.2 Controlo de Qualidade e Reescolha**

Na ocorrência da deteção de defeitos ou problemas nas embalagens, através de dados de CEP, rejeições nas MIL ou mesmo análises visuais, são acionados procedimentos de reinspeção. O procedimento padrão consiste na triagem da antepenúltima paleta “paletizada” para averiguar a existência do defeito, com base numa amostra ou mesmo na totalidade das unidades. Sendo

detetado, será imposta a rejeição das últimas três paletes, decisão que determinará também estender a triagem às três paletes antecedentes até que se constate, pela conformidade desse lote, que o defeito está estancado. As unidades das paletes consideradas conformes são novamente avaliadas e paletizadas se estiverem aptas – processo que se denomina de reescolha.

Saliente-se que os procedimentos de controlo de qualidade podem variar de acordo com as circunstâncias enfrentadas e o tipo de defeito a inspecionar.

### 3.3 Sistema XPAR IR-D

A XPAR Vision é uma empresa holandesa cuja atividade se foca na criação de soluções tecnológicas de controlo e monitorização na Zona Quente de empresas produtoras de embalagens de vidro. Um dos seus produtos, o sistema XPAR IR-D (de *Infrared Dual camera*), tem sido amplamente divulgado na indústria vidreira devido às suas potencialidades no controlo do processo de moldação. Este sistema baseia-se no uso da termografia na produção de embalagens de vidro, detetando a intensidade de radiação emitida por cada embalagem na Zona Quente, imediatamente a seguir à sua moldação nas máquinas IS.

A informação relativa à intensidade de radiação medida para as unidades produzidas em cada cavidade é tratada e utilizada com vista a:

- Fornecer informação em tempo real acerca do estado de cada cavidade da máquina IS, incluindo a variabilidade que o processo está a registar e assim perceber se o processo está estável;
- Permitir aos operadores afinar a máquina IS mais rapidamente de acordo com a informação fornecida, não tendo de esperar por informação proveniente da Zona Fria;
- Detetar a ocorrência de defeitos através da comparação com as definições estabelecidas e rejeição de unidades não conformes, especialmente os defeitos críticos.

O sistema é composto por um conjunto de elementos cuja finalidade e funcionamento são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Elementos do sistema XPAR IR-D.

Elemento	Função
<b>Duas Câmaras de Infravermelhos (Principal e Satélite)</b>	Filmar todas as embalagens que passam no tapete rápido e medir a radiação infravermelha emitida por cada uma delas.
<b>Software de Análise</b>	Analisar as imagens recebidas e comparar com os filtros, parâmetros e níveis de rejeição estabelecidos.
<b>XMIS</b>	Armazenar as imagens captadas e a informação associada numa base de dados SQL integrada.
<b>Consola / Interface com o utilizador</b>	Ajudar o operador a averiguar o estado do sistema ao navegar por vários menus num monitor localizado na linha de produção, junto à máquina IS. Também é possível o acesso remoto às mesmas informações e menus para que seja feita a análise pelos responsáveis de fabricação.

A existência de duas câmaras no sistema visa otimizar a superfície total da embalagem de vidro capturada. Nesse sentido, uma das câmaras é posicionada perpendicularmente ao tapete (câmara principal), sendo a segunda (câmara satélite) colocada do lado oposto do tapete com um certo ângulo que permita aumentar assim a área filmada (Figura 11). Em geral, as câmaras conseguem analisar cerca de 80 a 90% da superfície total da embalagem.

Se uma embalagem for considerada defeituosa pelo sistema, a informação é transmitida ao rejeitador (uma pistola de ar comprimido) que, ao disparar um jato de ar, a envia para um canal de reaproveitamento de casco que culminará na sua reintrodução nos fornos como vidro reciclado. Realce-se que a distância entre as câmaras e o rejeitador é cerca de 50cm, distância esta que é percorrida em apenas dois ou três segundos, pelo que o fluxo de informação entre câmaras, base de dados e rejeitador é extremamente rápido.

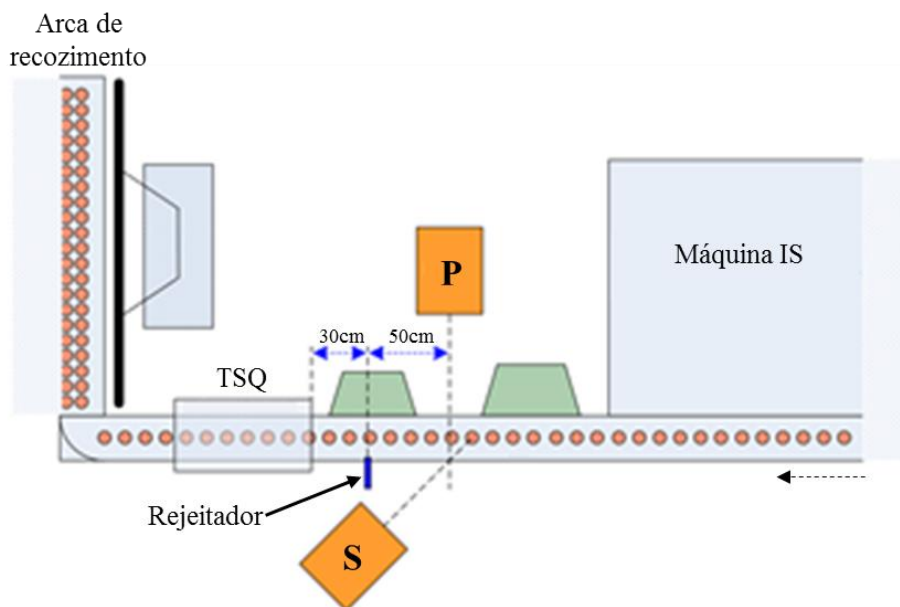


Figura 11 – Câmaras XPAR IR-D na linha de produção (P: Principal; S: Satélite).

À medida que as embalagens vão sendo analisadas pelo sistema, cerca de 10 segundos após serem moldadas, este armazena as imagens relevantes de acordo com os filtros definidos, para que possam ser consultadas mais tarde. São também agregadas as informações relativas à rejeição por defeito e cavidade da máquina. Ao mesmo tempo, os dados vão sendo integrados em gráficos com a evolução temporal dos módulos principais: intensidade de radiação, assimetria, verticalidade e forma da embalagem. Na consola é apresentada uma “Vista Geral” (Figura 12) do que se passa na máquina IS, onde as rejeições são assinaladas e se mostram os problemas de uma forma visual. O objetivo é fornecer aos operadores as informações necessárias para que facilmente compreendam o estado atual da máquina IS, percebam onde devem atuar e que problema ou problemas devem resolver.



Figura 12 – Exemplo da Vista Geral da consola.



Na Figura 12 observa-se que uma das cavidades está assinalada com um fundo vermelho. Tal significa que essa é a cavidade com mais rejeições e que uma determinada percentagem (predefinida) das embalagens produzidas nessa cavidade foi rejeitada no intervalo de tempo definido (25% de rejeição nos últimos 10 minutos, para a situação em causa). Retângulos amarelos no centro das embalagens indicam a causa de rejeição e podem também ser assinaladas áreas a uma cor diferente para avisar os operadores acerca de maior ou menor intensidade, mesmo sem rejeição. No Anexo E apresentam-se mais detalhes acerca da informação transmitida pela “Vista Geral”.

O processo de ajustamento das máquinas IS é realizado com base na informação proveniente da Zona Fria (quais os defeitos detetados nas MIL) e pelas informações que os próprios operadores vão retirando acerca do funcionamento da máquina IS. A comunicação entre Zona Quente e Zona Fria é constante, no entanto, devido ao hiato decorrente do período de recozimento e transporte nas linhas (sempre condicionado por paragens nas MIL por avaria ou afinação), o *feedback* acerca do estado das embalagens produzidas num dado momento pode demorar até duas horas (Figura 13).

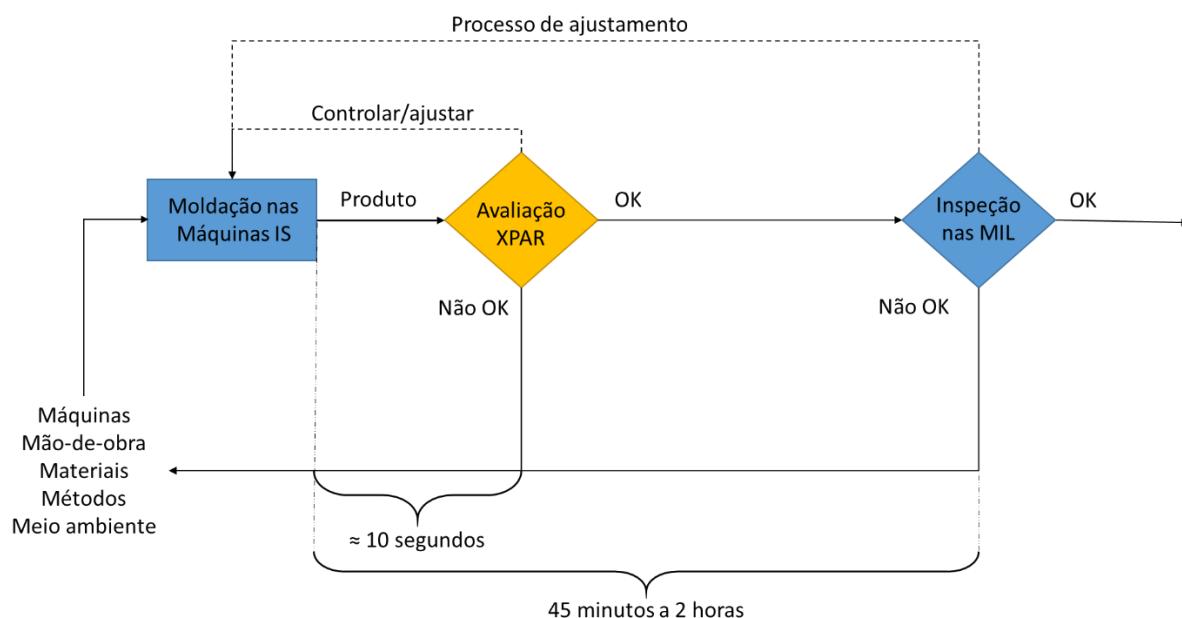


Figura 13 – Comparação do processo com e sem o sistema XPAR IR-D.

Adaptado de (Chapman 1994).

A base de dados XMIS permite aos responsáveis de supervisão a consulta de informação proveniente de horizontes temporais alargados e a escolha de diversos tipos de relatório. Estes possibilitam, por exemplo, a identificação das cavidades mais problemáticas e dos problemas associados, ou a taxa de rejeição registada para o intervalo de tempo escolhido (que pode recuar até meses anteriores). No Anexo F apresentam-se alguns dos relatórios disponíveis no XMIS.

### 3.3.1 Funcionalidades do sistema

As embalagens de vidro possuem diferentes zonas, às quais está associado um nome (esta terminologia é comum de fabricante para fabricante). O sistema XPAR IR-D permite por isso definir o número de zonas a considerar na análise e associar a cada uma delas um nome para que seja fácil e intuitivo perceber onde estão a ocorrer os problemas, utilizando uma terminologia familiar. A definição do número de zonas e a sua identificação foi evoluindo ao longo do tempo – inicialmente o gargalo estava definido como apenas uma zona, mas tal foi alterado no mês de abril devido ao maior controlo pretendido para esta zona, conforme será

explicado mais à frente neste trabalho. Na Figura 14 apresenta-se a distribuição das zonas mais atual.

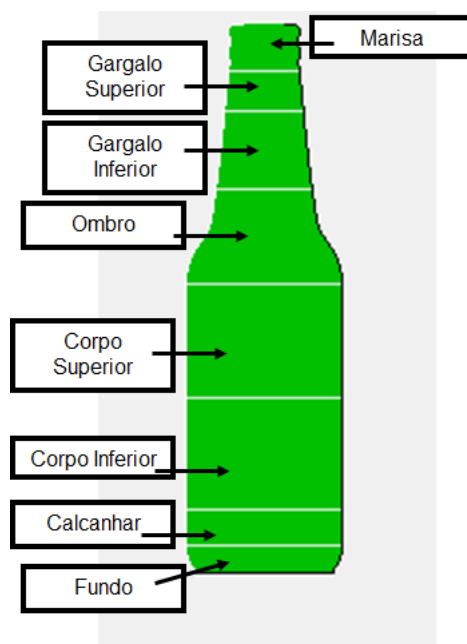


Figura 14 – Zonas da embalagem no sistema.

Dos diversos menus aos quais os operadores podem aceder destacam-se quatro, cuja análise permite a qualquer pessoa perceber qual o estado do processo em pouco mais de um minuto, mesmo que tenha acabado de chegar à linha de produção. Esses menus são apresentados e explicados na Tabela 3.

Tabela 3 – Menus do sistema XPAR IR-D

Menu	O que mostra?	Finalidade
<b>Últimos rejeitados</b>	Lista de imagens das embalagens rejeitadas ao longo dos últimos 60 minutos.	Detetar ocorrência de defeitos críticos.
<b>Rejeição por causa e cavidade</b>	Percentagem de rejeição por cavidade e por causa no intervalo de tempo definido (15, 30 ou 60 minutos).	Perceber onde estão a ocorrer mais rejeições e qual a sua causa.
<b>Ver Cavidade</b>	Variabilidade da intensidade, assimetria, forma ou verticalidade ao longo do tempo.	Perceber se o processo está estável e aferir o efeito dos ajustes realizados.
<b>Transporte</b>	Distância entre as embalagens no tapete rápido entre secções ou cavidade e a sua posição relativamente ao centro do mesmo.	Perceber se o espaçamento entre embalagens está adequado e aferir o efeito dos ajustes realizados.

Referir ainda que o acesso aos menus indicados é feito premindo apenas a respetiva tecla no teclado da consola presente junto à linha de produção. O acesso pretende ser intuitivo e apresentar a informação de forma visual (Figura 15 e Figura 16).

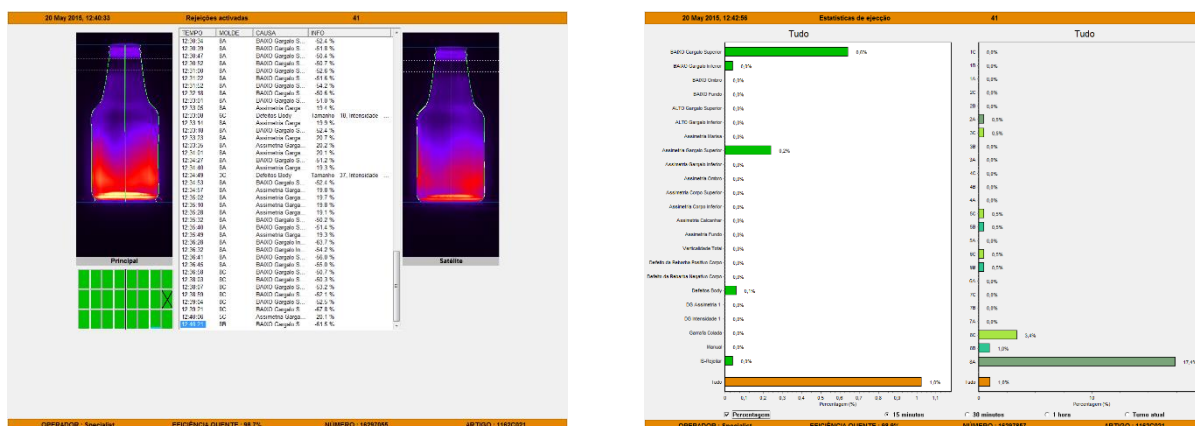


Figura 15 – Últimos Rejeitados (esquerda) e Rejeição por causa e cavidade (direita).

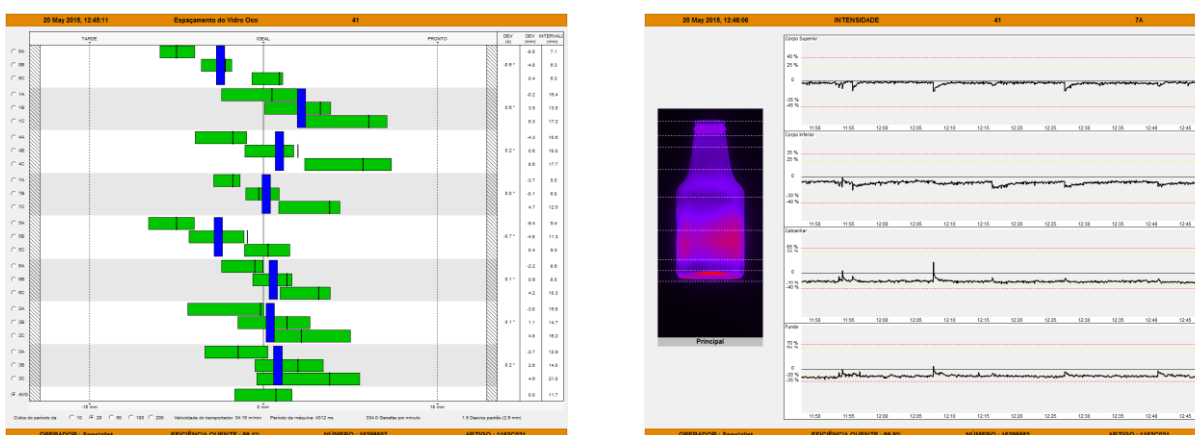


Figura 16 – Transporte (esquerda) e Ver Cavidade (direita).

Apesar do sistema ser capaz de detetar e rejeitar defeitos críticos, ele não identifica qual o tipo de defeito crítico que ocorreu, até porque a deteção pode ser feita através de módulos de rejeição diferentes, dependendo da forma e da intensidade de radiação associada aos defeitos.

### 3.4 Implementação do sistema XPAR IR-D

No contexto da garantia de qualidade das unidades produzidas e controlo do processo produtivo, há uma contínua procura por novas tecnologias, procedimentos, técnicas ou recursos que auxiliem este trabalho. É aqui que se insere o sistema XPAR IR-D.

A BA tomou conhecimento, através de análises de *benchmarking*, que grande parte dos seus concorrentes haviam optado pela aquisição de um equipamento igual ou com funções semelhantes para algumas das suas linhas (XPAR Vision 2015). No entanto, o cuidado e rigor com que é efetuado cada investimento não permitiria à Empresa a compra de um equipamento tão dispendioso (cada sistema custa cerca de €200.000) baseada apenas no comportamento da concorrência. Seria necessário avaliar a viabilidade real de um investimento estratégico deste calibre e averiguar quais seriam os benefícios reais da sua implementação. De salientar que o sucesso de tal projeto envolveria muito mais do que apenas a vertente técnica associada ao equipamento: a aceitação e utilização do mesmo por parte dos operadores da linha seria fundamental. Isto era claro desde o início e afigurava-se como o fator limitativo mais crítico.

A necessidade de se manter ao nível dos seus concorrentes, no que toca ao conhecimento acerca das potencialidades e exequibilidade da utilização de nova tecnologia e a crescente pressão por parte de alguns dos seus clientes mais exigentes que questionaram a Empresa acerca do uso de

um sistema com características similares ao XPAR IR-D determinaram o assumir do projeto para que se testasse o impacto da solução numa linha de produção piloto.

### 3.4.1 Escolha da linha piloto

Numa primeira fase, após a decisão de aquisição do equipamento para teste, foi necessário decidir em que linha deveria ser instalado. Dado que a instalação de um equipamento desta natureza envolve a presença de um representante da marca para que este seja corretamente calibrado e posicionado, uma mudança de localização envolveria o pagamento dos honorários a ele associados, além da mão-de-obra exigida para o transporte e acomodação dos componentes e, por fim, os componentes elétricos necessários. O custo total desta operação atingiria os milhares de euros, pelo que se definiu logo desde início que uma eventual mudança de localização só seria efetuada no caso de necessidade extrema.

A fábrica de Avintes (AV) possui três fornos, cuja nomenclatura é AV2, AV4 e AV5. As linhas de produção de cada forno da BA são apresentados na Figura 17.

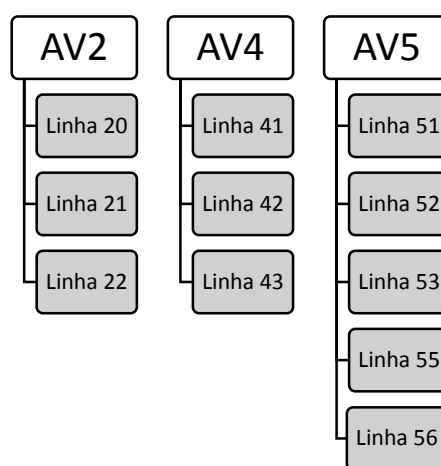


Figura 17 – Fornos e linhas de produção da fábrica de Avintes.

De seguida, foram definidos os requisitos que a linha piloto teria de apresentar para que pudesse ser considerada para a instalação do sistema. Os principais critérios considerados, por ordem de importância, foram:

1. Linha com produção estável, que produzisse mesmo produto acabado durante um longo período de tempo;
2. Nível de qualidade exigido pelos clientes;
3. Possibilidade de monitorização da produção de vidro preto.

O planeamento da produção na indústria vidreira é continuamente complexo, dada a elevada variabilidade da procura e a presença de condicionantes como a cor do vidro da embalagem a produzir. No entanto, existem algumas referências de embalagem que, sendo vendidas a volume, têm uma produção mais constante ao longo do ano, estendendo-se por períodos de tempo mais alargados. Salienta-se que cada forno produz apenas uma tonalidade de cor específica a cada momento, sendo essa cor geralmente comum a todas as linhas de produção associadas a esse forno. Existem fornos com canais onde são adicionados corantes (*feeder* colorante), permitindo assim obter uma cor diferente nesse canal, mas trata-se de uma solução pouco habitual e muito dispendiosa.

O primeiro critério limitava desde logo o projeto às linhas de produção 21, 22 e 41, que produziam essencialmente referências de cerveja durante os meses seguintes. Os restantes critérios foram determinantes para que pudesse ser tomada a decisão final.

A linha 41 iria produzir unidades para um cliente extremamente exigente, que já comunicara à Empresa que gostaria que fosse utilizado um sistema idêntico ao XPAR IR-D nas inspeção das

suas embalagens. Além disso, o forno AV4 já havia sido escolhido para a produção do vidro preto alguns meses antes. Esta preocupação adicional com o vidro de cor preta prende-se com a extrema dificuldade de inspecionar estas embalagens após terem sido produzidas, como será explicado, posteriormente, no presente documento. Foi então decidido que o sistema seria instalado na linha 41, tendo-se procedido à instalação no mês de janeiro de 2015 e o seu funcionamento em pleno (envolvendo rejeições de unidades) teve início na segunda quinzena desse mês.

Cada produto acabado é codificado de acordo com um sistema de codificação interno que indicam o modelo, o tipo de marisa, a cor, o acabamento e o tipo de paletização utilizada. No âmbito deste trabalho os produtos acabados serão mencionados através do seu modelo, por questões de simplificação.

Os modelos a produzir na linha 41 durante o período em análise seriam o 1162 e o 1262, que se referem a embalagens do tipo garrafa, produzidas através de NNPB, com o mesmo formato, mas com diferentes capacidades. Na Tabela 4 são sumarizadas as características de cada um dos modelos.

Tabela 4 – Características dos modelos 1162 e 1262.

Modelo	Cadência	Peso	Volume
<b>1162</b>	334/minuto	165g	25cl
<b>1262</b>	287/minuto	205g	33cl

A linha 41 apresenta, porém, uma característica diferente de qualquer uma das restantes linhas da fábrica de AV: possui um módulo de decoração integrado na própria linha. Esta decoração é efetuada após as embalagens de vidro serem inspecionadas nas MIL, sendo aplicado um rótulo do tipo “Pressure Sensitive Label” (PSL), uma técnica de impressão usada sobre uma superfície transparente aplicando pressão, usada em grandes séries. Este módulo adicional funciona como uma limitação da capacidade produtiva da linha, por ser um potencial foco de encravamentos e defeitos nas embalagens produzidas devido a uma má aplicação dos rótulos. Na Figura 18 representa-se a estrutura da linha 41, desde a moldação das embalagens.



Figura 18 – Etapas da linha 41.

### 3.4.2 Objetivos Iniciais

Numa fase inicial do projeto procedeu-se à definição dos potenciais benefícios que o sistema XPAR IR-D poderia trazer à Empresa, de maneira a estabelecer quais os aspetos mais importantes a avaliar e conseguir uma abordagem mais focalizada.

Neste âmbito foi elaborada uma matriz de prioridades (Anexo G) que permitiu perceber quais os principais benefícios esperados com o projeto:

- Aumentar a qualidade entregue ao cliente com uma inspeção mais rigorosa;
- Melhorar a rejeição de paletes decorrente da deteção de defeitos críticos;
- Melhorar os processos de lubrificação e ajuste da queda da gota, possibilitados pelo controlo contínuo do processo de moldação e análise da variabilidade.

Além dos pontos acima mencionados, procurava-se também perceber o impacto que o sistema teria nos indicadores de produtividade da linha 41.

### **3.4.3 Instalação do equipamento na linha piloto**

No início do projeto alguns representantes da marca do equipamento estiveram presentes na fábrica e coordenaram a sua instalação na linha 41, em particular a posição das câmaras para que as imagens obtidas fossem tão otimizadas quanto possível.

Outro aspeto crucial foi o foco da implementação, sendo definido que este recairia em dois pontos: pouco vidro no gargalo e pouco vidro no fundo. Tal justifica-se por estas zonas serem especialmente suscetíveis à falta de vidro na ocorrência de variações no processo de NNPB (que seria utilizado na produção das embalagens desta linha) e por serem alvo de grande exigência por parte do cliente. Note-se que na produção de vidro de embalagem o excesso de vidro não é um problema caso não provoque problemas dimensionais.

Como tal, procurou-se perceber qual a relação entre a intensidade de radiação indicada pelo sistema e a espessura que as garrafas de facto apresentavam. Neste sentido, foram recolhidas amostras provenientes de períodos em que o sistema indicasse pouca variabilidade e medidas as espessuras dessas unidades. Com base nestes resultados foram estabelecidos os limites de rejeição dependentes da intensidade. Esta verificação da relação intensidade da radiação/espessura deveria ser feita com alguma regularidade para confirmar a validade dos limites estabelecidos.

Os mesmos representantes foram também responsáveis por realizar a formação dos colaboradores responsáveis pelo equipamento, explicando o funcionamento das diversas componentes do sistema e quais as funcionalidades que deveriam ser consultadas com mais frequência pelos operadores. Esses elementos seriam por sua vez responsáveis por instruir os operadores da linha de produção.

O objetivo seria introduzir a consulta periódica da informação do sistema na rotina diária dos operadores, de modo a que fossem averiguando a evolução da variabilidade em cada cavidade, a incidência de defeitos por cavidade e mesmo as imagens das embalagens rejeitadas. Não se pretendia um processo estático no qual as definições perdurassem indefinidamente, mas antes que este fosse dinâmico e que se realizassem ajustes frequentes para a otimização dos filtros, dos parâmetros estabelecidos e dos níveis de rejeição. O trabalho com os operadores deveria ser contínuo e estes teriam de estar envolvidos com o projeto, assim como as chefias: como qualquer projeto de melhoria contínua, o envolvimento de todos é essencial para o sucesso (Imai 2012).

## 4 Desenvolvimento do Projeto

Neste capítulo será apresentada detalhadamente a abordagem seguida na implementação do projeto de controlo de processo na Empresa. A prioridade inicial foi compreender como o sistema XPAR IR-D funciona, as suas potencialidades e, acima de tudo, perceber quais as componentes mais fundamentais para a sua utilização por parte dos operadores. Este último aspeto foi particularmente importante, pois teria necessariamente de preceder a formação às pessoas e a sua celeridade seria crucial para entender o verdadeiro impacto que o sistema poderia ter na linha de produção.

Com o evoluir do projeto e a sua implementação, foram não só identificados os principais problemas da linha 41 que o sistema poderia contribuir para minimizar, como também procuradas soluções para esses mesmos problemas.

Por fim, são apresentados os resultados obtidos em diversos indicadores definidos e é feita uma análise custo-benefício baseada nesses resultados e numa consequente estimativa do impacto futuro do equipamento na produção da linha.

### 4.1 Estudo do funcionamento do sistema

A primeira fase do projeto passou, como já referido, por uma intensa recolha, e consequente estudo da documentação disponível acerca do sistema, com vista a uma melhor compreensão do seu funcionamento, funcionalidades e aspetos a ser focados na implementação. Incluem-se aqui os manuais técnicos do equipamento e formações disponibilizadas pelo seu fornecedor. Note-se que o sistema possui diversos módulos de rejeição e filtros diferentes, cuja importância depende da embalagem a produzir.

Saliente-se ainda que o *software* do sistema foi sendo atualizado ao longo do decorrer do projeto, tendo sido instaladas versões mais recentes com algumas diferenças relativamente às anteriores em termos de configurações e possibilidades ao nível da inspeção. Houve assim uma necessidade de procura contínua de informação e a comunicação constante com os fornecedores do sistema.

### 4.2 Formação dos operadores

Para que a implementação do equipamento fosse viável, considerou-se seriamente um fator fundamental a ter em conta: os operadores da linha. Sendo estes quem passa mais tempo no terreno e sendo responsáveis pelos ajustes nas máquinas IS e o seu correto funcionamento, o sucesso do projeto dependeria em grande parte da sua utilização do equipamento.

O objetivo da introdução do sistema na linha 41 era contribuir para a incrementação do controlo do processo produtivo e a sua estabilização. Contudo, para que a sua função fosse cumprida teria de haver necessariamente uma alteração da rotina de trabalho dos operadores. Tendo em conta que grande parte das pessoas trabalham na Empresa há já vários anos, alguns mesmo há décadas, sem nunca ter utilizado um equipamento semelhante, a tarefa de alterar esta rotina teria de envolver necessariamente a sua sensibilização para a importância que tal poderia ter no

desempenho da linha e na facilitação do seu próprio trabalho. Caso contrário, nunca seria possível o envolvimento das pessoas com o projeto e, conseqüentemente, este estaria logo à partida condenado ao insucesso. Como tal, foi feita uma formação inicial acerca do funcionamento do sistema e as suas funções, tal como referido anteriormente. Esta formação realizou-se em cada um dos turnos, embora nem todos os operadores tenham estado presentes, dado que decorreu fora do horário laboral.

Ao longo do projeto, grande parte do trabalho passou por conversar com os operadores no dia-a-dia, durante o seu período de trabalho, chamando a atenção para problemas que fossem ocorrendo e para os alertas do sistema, incentivando-os para a sua resolução e encorajando-os no acompanhamento da situação através das ferramentas de que o sistema dispõe.

No início do mês de maio foi realizada uma nova formação para os operadores, com o objetivo de relembrar os conceitos apresentados na formação anterior e facultar às pessoas o conhecimento necessário para a utilização do sistema. Acima de tudo, pretendia-se fornecer uma metodologia para o consultarem da maneira mais eficiente possível, ou seja, obter as informações que necessitam de forma rápida. Desta forma, a alteração da sua rotina não seria tão acentuada, passando em grande parte por associar a sua consulta com outros procedimentos já existentes, como por exemplo antes e depois do ciclo de lubrificação. A finalidade era perceber o efeito que teria o modo como era feita a lubrificação nas rejeições do sistema, uma vez que a esta está associado um pico nos valores dos gráficos de variabilidade da intensidade, especialmente na zona do gargalo (Figura 19).

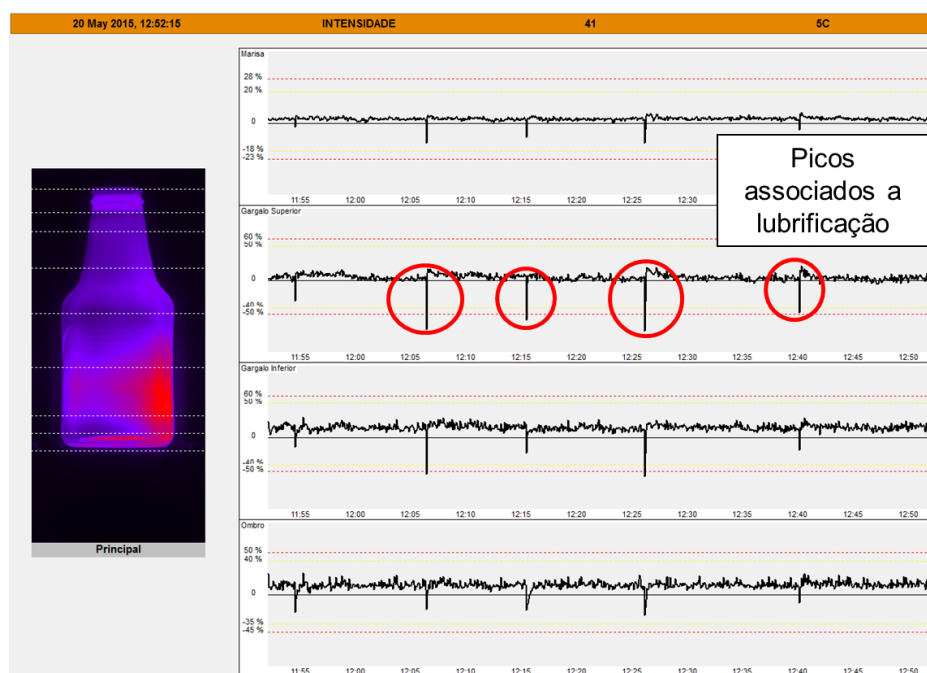


Figura 19 – Ocorrência de picos na lubrificação.

Esta nova formação realizou-se com cada turno e pretendia motivar cada um deles a utilizar cada vez mais o equipamento. Com esta finalidade, cada um dos quatro turnos compareceu uma hora mais cedo no horário da tarde durante quatro dias da segunda semana de maio. Foi realizada uma formação de cerca de 45 minutos na qual se apresentou brevemente os fundamentos teóricos do sistema e, posteriormente, se focou os aspetos importantes a consultar no decorrer do trabalho e alguns exemplos práticos. Após a formação e no horário de trabalho, foi dado um acompanhamento no terreno para complementar toda a informação transmitida, ajudando na consulta prática do equipamento e resolvendo eventuais dúvidas que pudessem surgir.



Durante as formações foram notórias as disparidades no nível de interesse demonstrado pelos operadores dos diferentes turnos. Embora a maioria tenha manifestado entusiasmo e vontade de aprender, tal não foi comum a todos eles, tendo-se notado alguma desconfiança à mudança por parte de alguns, principalmente os de idade mais avançada. A estes seria feito um acompanhamento mais constante com o objetivo de lhes demonstrar cada vez mais como o equipamento lhes poderia ser útil em diversas situações do seu trabalho diário.

### 4.3 Manual do equipamento

Com base em toda a literatura consultada acerca do funcionamento e especificidades técnicas do sistema, bem como algumas apresentações a operadores fornecidas pela marca, foi elaborado um manual do equipamento (ver Anexo H). O objetivo seria providenciar um guia, tão visual quanto possível, onde fossem explicados todos os menus considerados interessantes para o uso dos operadores, com imagens retiradas dos casos encontrados e exemplos de procedimentos práticos de situações em que o sistema se mostrou útil. Na elaboração do manual foram também tidas em consideração as questões usualmente feitas nas formações, procurando dar resposta a todas elas. O manual foi colocado numa divisão anexa à linha de produção.

A necessidade deste manual prende-se com a impossibilidade de ter sempre presentes na linha de produção (como por exemplo ao fim-de-semana) os colaboradores com mais conhecimentos acerca do equipamento e responsáveis pelo seu acompanhamento, com quem os operadores poderiam esclarecer eventuais dúvidas que fossem surgindo. Nestes casos o manual funcionaria como um apoio contínuo ao qual poderiam recorrer sempre que houvesse necessidade. Além disso, este manual contribuiria também para promover o autocontrolo dos operadores – dadas as condições e formação necessárias para a execução do seu trabalho corretamente, estes seriam responsáveis pelos resultados produzidos, tal como referido previamente na secção 2.2.1.

### 4.4 Evolução do sistema

Para compreender a evolução do sistema ao longo do tempo, é pertinente analisar a taxa de rejeição que este foi registando. Na Figura 20 apresentam-se os dados obtidos e assinalam-se com linhas verticais as semanas nas quais ocorreu uma mudança de fabrico (mudança do modelo produzido). Saliente-se que os momentos de mudança de fabrico estão associados a pausas de produção devido ao *setup* necessário para efetuar alterações na máquina IS, como os moldes finais, moldes de principiar ou tipo de gota. As mudanças são categorizadas por tipo de 1 até 7, de acordo com o tempo necessário e a sua complexidade. Para paragens superiores a 4 horas, como acontece nas mudanças de cor ou manutenções programadas mais demoradas, é ainda considerado o tipo 0. No caso particular da mudança entre os modelos 1162 e 1262, trata-se de uma mudança de tipo 3, uma vez que são alterados os moldes de principiar e finais, além das necessárias modificações ao nível da cadência de produção.

Na Figura 20 são retiradas as semanas associadas à produção de vidro preto (semanas 15 e 16 de 2015).

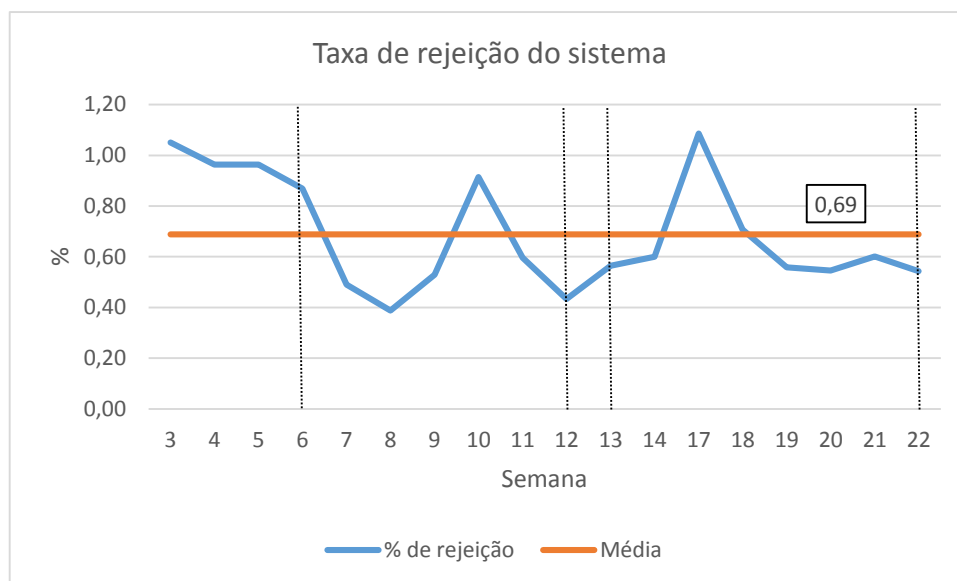


Figura 20 – Taxa de rejeição do sistema ao longo do tempo.

É possível observar a presença de dois picos de rejeição no período avaliado: o primeiro, na semana 10, deveu-se a problemas frequentes com infundidos (presença de cerâmicos no vidro fundido); o segundo ocorreu após a mudança de cor, de preto novamente para verde-esmeralda, tendo-se registado a presença de resíduos de corante associados ao vidro preto em algumas das cavidades. O sistema permitiu que a rejeição automática das embalagens produzidas nessas cavidades onde o problema foi identificado fosse simplificada.

Note-se ainda que em apenas uma das semanas em que ocorre mudança de fabrico se regista um aumento da rejeição, pelo que estas não parecem ser críticas no ajuste do sistema. O processo de mudança de fabrico no sistema tornou-se quase automático no que toca à sincronização e processamento das imagens após a última atualização de *software* e espera-se que seja completamente automático na próxima versão. A única intervenção que é necessário fazer atualmente prende-se com o ajuste das cores obtidas, mas também isso passará a ser automatizado. Os limites de rejeição podem ser definidos manualmente ou, no caso de se tratar de um modelo já registado no sistema, podem ser utilizados os intervalos definidos no último fabrico.

#### 4.4.1 Rejeição por causa

Tal como se referiu anteriormente, o foco inicial da implementação havia sido a falta de vidro no gargalo e no fundo. No entanto, outros módulos de rejeição estavam ativados (como assimetria, verticalidade, garrafa colada ou infundidos) e houve, por isso, a necessidade de averiguar quais as maiores causas de rejeição pelo sistema (Figura 21).

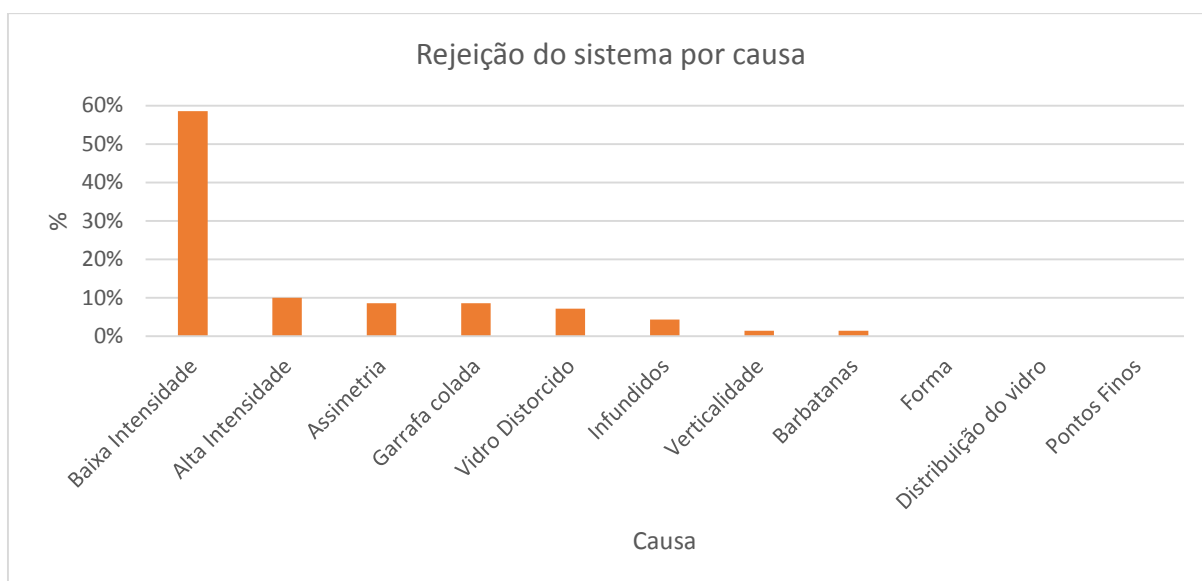


Figura 21 – Rejeição do sistema por causa.

Percebe-se facilmente pela análise da Figura 21 que a baixa intensidade de radiação, ou seja, a pouca espessura de vidro, é a maior causa de rejeição através do sistema. Tal é explicado pelo maior ênfase dado logo à partida à quantidade de vidro no gargalo e no fundo, como foi explicado, mas demonstra também que estes são, de facto, os problemas mais habituais na produção destes modelos, pelo que os focos iniciais parecem ter sido bem identificados.

Torna-se por isso interessante perceber o problema que está na origem da rejeição por baixa intensidade de radiação. As únicas zonas onde esta rejeição estava ativa, até abril, eram o gargalo e fundo, mais tarde ativou-se também esta rejeição na zona do ombro.

No mês de abril identificou-se que a principal causa de rejeição, até então, se devia à baixa intensidade no gargalo (Figura 22), e decidiu-se, com vista a um estudo mais aprofundado do problema, dividir esta zona em duas: gargalo superior e gargalo inferior. Desta forma poderia compreender-se se existiria uma zona do gargalo mais problemática (Figura 23). Ao mesmo tempo, pretendia-se fazer um estudo mais extensivo à influência que o fator humano teria nestas rejeições, uma vez que a lubrificação está, como já demonstrado, associada a picos de rejeição no gargalo.

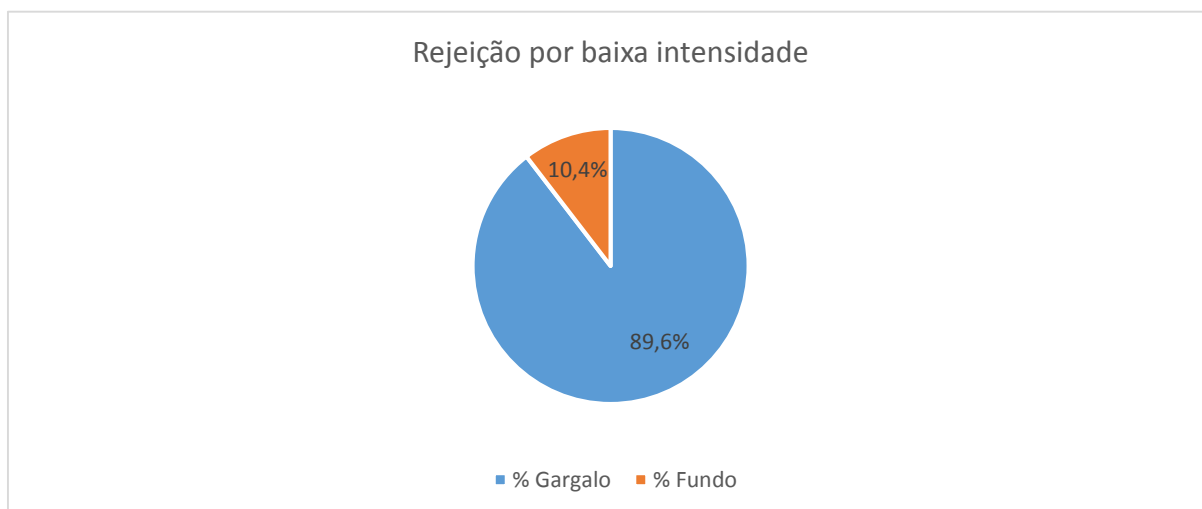


Figura 22 – Distribuição da rejeição por baixa intensidade por zona entre janeiro e abril.

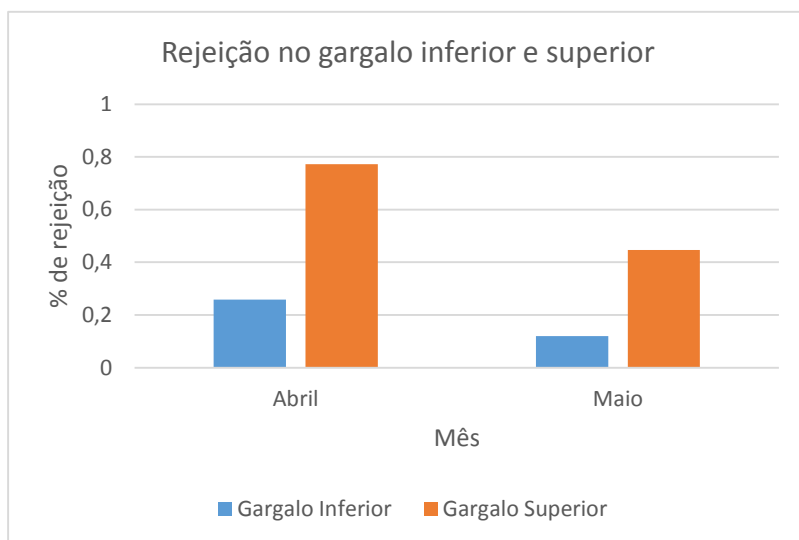


Figura 23 – Rejeição no gargalo superior e inferior.

Constata-se facilmente que o gargalo superior regista uma rejeição muito superior em ambos os meses, pelo que se decidiu averiguar o comportamento dos turnos (A, B, C e D) nos meses de abril e maio para perceber se existiriam diferenças significativas entre eles. Os resultados são apresentados na Figura 24.

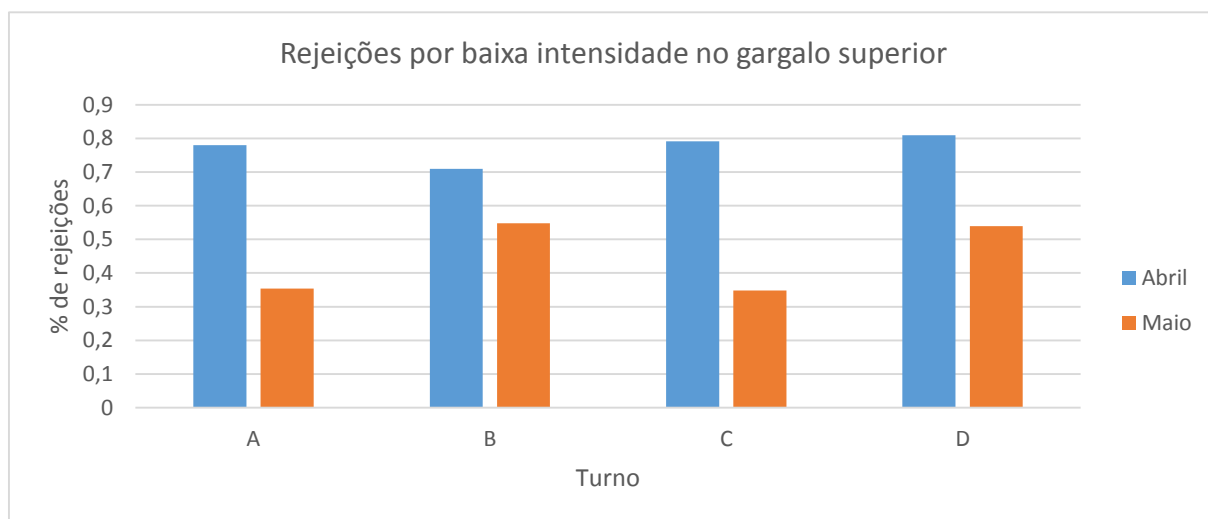


Figura 24 – Rejeições por baixa intensidade no gargalo superior por turno.

A evolução de abril para maio é clara e regista-se para todos os turnos. No entanto, dois deles destacam-se claramente pela positiva – os turnos A e C, nos quais a taxa de rejeições desce para menos de metade. Pelo contrário, os turnos B e D apresentam as maiores taxas de rejeição por uma diferença de cerca de 0,20 pontos percentuais (mais 36% do que os turnos A e C). Note-se ainda que o turno B passou de melhor turno neste parâmetro em abril para o pior no mês de maio.

Torna-se relevante perceber a razão quer das diferenças entre ambos os meses, quer das diferenças entre turnos no mês de maio. Há dois fatores que justificam estes diferenciais: em primeiro lugar alguns ajustes que foram feitos nos limites de rejeição no início de maio com base em verificações da relação intensidade/espessura e que, embora ligeiros, contribuíram para uma menor rejeição; em segundo lugar, a formação realizada na segunda semana de maio. Enquanto o primeiro fator pode explicar a diferença registada para todos os turnos, o segundo pode ter sido determinante para as diferenças entre turnos. Note-se ainda que não houve qualquer formação em lubrificação entre os dois períodos.

Após a formação feita em maio, considerou-se relevante perceber se os conhecimentos e explicações teriam sido assimilados pelas pessoas e, com essa finalidade, foram realizadas avaliações ao conhecimento dos operadores de cada um dos turnos. É importante ressaltar que as avaliações foram feitas de um modo informal, questionando as pessoas se ainda se recordavam de como executar algumas ações e pedindo para o demonstrar. Foram abordadas as ações que tinham sido mais focadas na formação e que deveriam estar implementadas na sua rotina diária: “últimos rejeitados”, “rejeições por causa e cavidade”, “transporte” e “ver cavidade”. Não havia nada que indicasse que estavam a ser avaliados: os seus procedimentos em resposta às ações pedidas foram memorizados e classificados de seguida. A classificação consistia em seis diferentes níveis:

0. Ação não foi executada;
1. Ação foi executada mas com muita ajuda;
2. Ação foi executada mas com ajuda;
3. Ação foi executada com muitas hesitações e consulta de menus errados, sem ajuda;
4. Ação foi executada com hesitações, sem ajuda;
5. Ação foi executada prontamente, sem ajuda.

O objetivo era que a classificação fosse o mais objetiva possível de forma a transparecer corretamente o nível de conhecimento da pessoa em questão. No total foram feitas três avaliações a cada turno durante as duas semanas que procederam as formações e os resultados obtidos são apresentados na Figura 25.

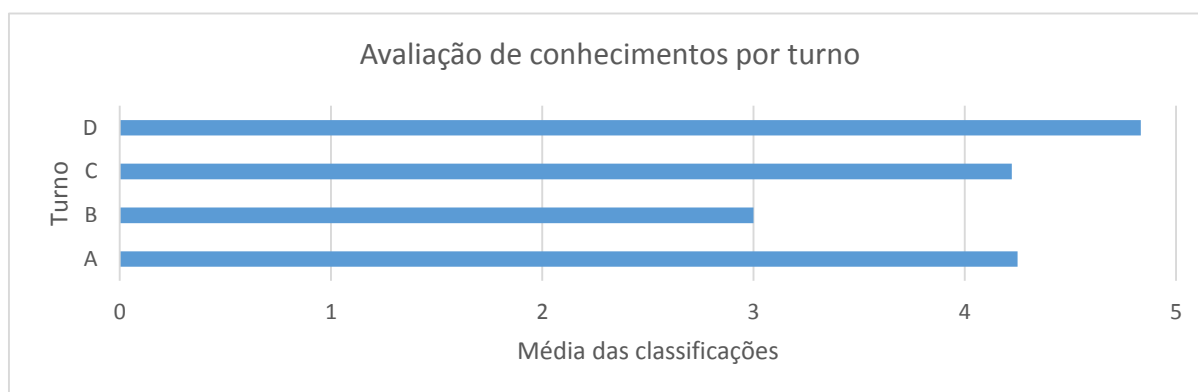


Figura 25 – Avaliação de conhecimentos por turno.

Da análise do gráfico duas conclusões parecem óbvias: o turno B tem um nível de conhecimentos significativamente mais baixo do que os restantes e os restantes turnos têm um nível de conhecimentos competente, destacando-se o turno D. Ora, recuperando os resultados obtidos para as rejeições por baixa intensidade no gargalo superior no mês de maio, há algumas considerações interessantes a fazer:

- O turno B é um dos turnos com piores resultados nas rejeições e é também o pior nas avaliações: possivelmente as pessoas não utilizam tanto o sistema porque têm mais dificuldades em fazê-lo;
- O turno D tem resultados idênticos ao turno B nas rejeições por gargalo superior mas é o melhor nas avaliações: possivelmente as pessoas sabem utilizar o sistema mas não o fazem.

No Anexo I apresenta-se ainda um gráfico com as alterações entre menus efetuadas pelos operadores na consola instalada na linha de trabalho. Esta funcionalidade foi integrada no XMIS após a atualização de *software* em abril e permite perceber quais os menus mais consultados ao longo do tempo.

Ao longo do projeto somaram-se as situações em que foi possível fazer ajustes na máquina IS através do recurso ao sistema. Além disso, foi possível perceber qual o impacto das ações

desenvolvidas ao analisar o menu “Ver Cavidade” e observar a evolução da variabilidade nas várias zonas da embalagem (Figura 26). Uma das fontes mais comuns de rejeição foi, como referido, a baixa intensidade de radiação no gargalo, associada à falta de vidro. Este defeito pode ter inúmeras origens (essa é, aliás, uma realidade habitual para a quase totalidade dos defeitos das embalagens), no entanto, uma das causas mais usuais era a queda da gota no molde de principiar. Este processo de queda da gota é apresentado com mais detalhe no Anexo J, sendo que a sua resolução passa pelo ajuste do componente que conduz a gota até ao molde, o defletor.

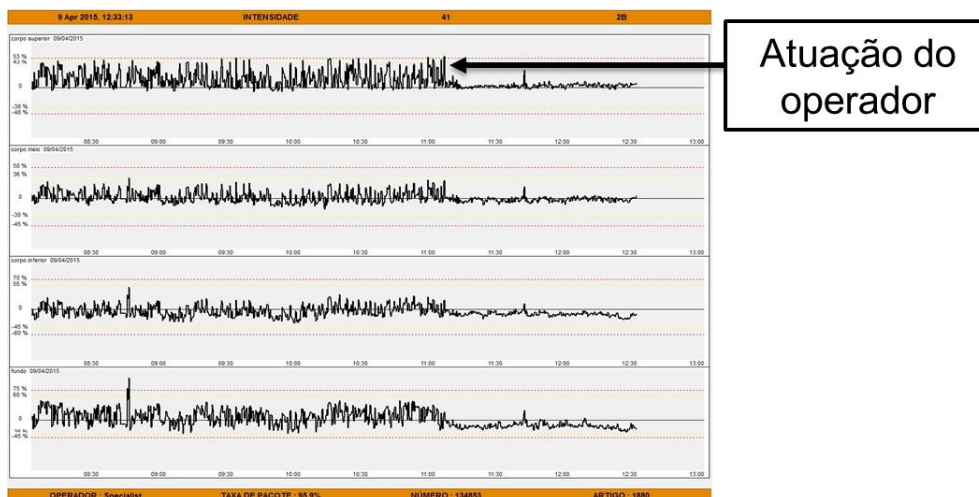


Figura 26 – Exemplo de impacto da atuação do operador na variabilidade do processo.

Paralelamente, foram identificadas situações nas quais as ações realizadas pelos operadores não solucionaram o problema, mas apenas o “esconderam”: o defeito deixava de se verificar durante algum tempo, mas voltava a ocorrer mais tarde (Figura 27). Assim, foi possível identificar quer algumas práticas erradas, quer a eficácia das ações desenvolvidas para a resolução de problemas.

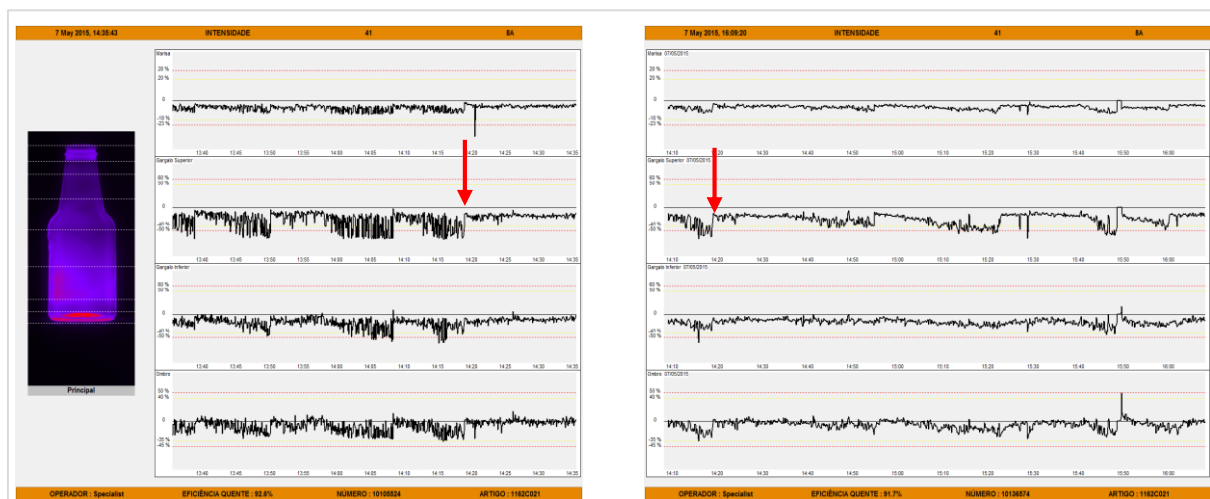


Figura 27 – Gráfico da variabilidade no momento (esquerda) e 2 horas mais tarde (direita).

No exemplo apresentado na Figura 27, o operador tentou resolver o problema de falta de vidro no gargalo com a lubrificação do defletor. Trata-se de uma prática errada e que deve ser evitada, pois apesar de resolver o problema momentaneamente, contribui para a acumulação de material no defletor e progressivo atraso da queda da gota. Ao analisar o gráfico da evolução temporal duas horas mais tarde, verifica-se que o problema se repete ciclicamente, resultado da intervenção do operador. Após ser alertado acerca do efeito da sua ação, que não havia solucionado o problema, o operador procedeu à limpeza do defletor e, ao fazê-lo, verificou que

o seu suporte estava mais solto que o dos restantes e que essa era a verdadeira fonte do problema.

#### 4.5 Verificação intensidade/espessura

Com o objetivo de validar estatisticamente os resultados obtidos através do sistema, nomeadamente a relação entre a intensidade da radiação e a espessura, foram realizados alguns testes com base em amostragens. Pretendia-se fazer verificações à espessura das embalagens para compreender se os limites de rejeição estabelecidos estariam adequados ou se seria necessário proceder a ajustes. As amostras foram retiradas de períodos em que o processo estava estável (variabilidade indicada nos gráficos intensidade/tempo era baixa) e, depois de medidas, foram comparadas com os valores dos limites. Nos testes efetuados foram sempre medidas amostras de 10 embalagens na zona do gargalo e calculada a média das medições. A este valor corresponderia o valor de 0% registado no gráfico do sistema e assumiu-se uma aproximação linear para os valores dos limites inferior (LI) e superior (LS). Quando se verificava que o limite inferior obtido correspondia a um valor inferior a 1,20mm, os limites eram ajustados para cumprir esta condição (o valor mínimo foi variável, conforme se pretendesse maior ou menor tolerância). Note-se que o valor mínimo especificado é de 0,9mm e que o limite superior não é especificado. Na Tabela 5 apresenta-se um exemplo de verificação.

Tabela 5 – Exemplo de verificação dos limites de rejeição.

	Valores dos limites iniciais	Valores de espessura correspondentes	Novos valores dos limites	Novos valores de espessura
<b>LI</b>	-0,60%	0,93mm	-0,45%	1,28mm
<b>Média</b>	0%	2,34mm	0%	2,34mm
<b>LS</b>	0,50%	3,50mm	0,60%	3,74mm

Para validar a capacidade do processo, foram recolhidas dez embalagens por dia ao longo de dez dias, retiradas de períodos em que o processo estaria estável, segundo os dados do sistema. De seguida, foram medidas as espessuras na zona do gargalo superior e, com recurso ao programa Minitab, foi estudada a variabilidade dos dez subgrupos recolhidos. Os resultados obtidos são apresentados no Anexo K. Verifica-se, de acordo com os resultados obtidos, que o processo é capaz.

#### 4.6 Definição de Indicadores

Pouco tempo após o começo do projeto, iniciou-se uma das fases que, embora prematuras, seriam de primordial importância para o seu desfecho: a definição dos indicadores a estudar. Tal importância justifica-se pela necessidade de avaliar o projeto e os seus resultados eficazmente, recorrendo preferencialmente a variáveis quantificáveis e que pudessem por isso conduzir a análises objetivas. Estes resultados estariam, tal como mencionado anteriormente, intrinsecamente relacionados com o envolvimento das pessoas. Enquanto a recolha de dados era essencial para possibilitar uma avaliação quantitativa dos resultados obtidos, o envolvimento das pessoas era crucial para que estes fossem positivos. O que se pretendia era averiguar a evolução dos indicadores e perceber qual o impacto causado pela implementação do sistema XPAR IR-D, analisando-se os resultados antes e depois da sua instalação.

Os dados analisados referem-se ao período decorrido entre 22 de setembro de 2014 (semana 39) a 31 de maio de 2015 (semana 22). Foram retiradas as semanas correspondentes ao intervalo de 6 a 19 de abril de 2015 (semanas 15 e 16), devido à mudança de cor para vidro preto e reposição novamente para verde-esmeralda.

A escolha de alguns dos indicadores era inevitável, nomeadamente a Eficiência a Quente, percentagem de rejeição nas MIL e Rendimento de Fábrica. Estas três métricas são consideradas os indicadores básicos do estado de qualquer linha de produção na BA, pois permitem perceber a produtividade da Zona Quente, da Zona Fria e o global da linha, respetivamente.

A Eficiência a Quente é o principal índice de produtividade da Zona Quente de uma linha de produção e consiste na razão entre o número de garrafas que entram na arca de recozimento e o número de gotas de vidro “cortadas” que chegam às máquinas IS (4.1). Deste modo, a Eficiência a Quente reflete a ocorrência de problemas ou limitações nesta área, geralmente nas máquinas IS, tais como arranques de fabrico ou encravamentos de setores. Os valores da Eficiência a Quente variam bastante de acordo com a embalagem produzida (algumas embalagens, devido à sua forma e características dimensionais, causam mais encravamentos) mas o seu valor é geralmente superior a 90% e pode atingir os 99%.

$$\text{Eficiência a Quente} = \frac{N^{\circ} \text{ de unidades na arca de recozimento}}{N^{\circ} \text{ de gotas cortadas}} \quad (4.1)$$

Por sua vez a percentagem de Rejeição nas MIL é o somatório das rejeições registadas em cada uma das MIL ao longo da linha. Apesar de também poder ser considerado um indicador de qualidade, dada a sua relevância na determinação da produtividade da Zona Fria a Rejeição nas MIL será considerada um indicador de produtividade no âmbito do presente trabalho. O Rendimento de Fábrica é um dos principais indicadores de produtividade utilizados na Empresa. Consiste na razão entre o número de unidades paletizadas e o número de gotas cortadas (ver (4.2)).

$$\text{Rendimento de Fábrica} = \frac{N^{\circ} \text{ de unidades paletizadas}}{N^{\circ} \text{ de gotas cortadas}} \quad (4.2)$$

Além dos índices já referidos, foram também estudados outros indicadores que permitissem perceber quais os impactos do projeto na qualidade dos produtos. Variáveis como a rejeição de paletes por defeitos críticos, o número de defeitos críticos detetados ou a quantidade de unidades bloqueadas em controlo de qualidade foram consequentemente estudadas.

Realce-se que o processo de estabelecimento de indicadores não ocorreu apenas na fase inicial do projeto – este foi alvo de diversos ajustes, decorrentes dos resultados que foram sendo obtidos e da discussão dos mesmos com os responsáveis de qualidade e produção. À medida que o projeto foi avançando, foram surgindo outras variáveis relevantes, com vista, por exemplo, à comparação dos resultados por turno.

Por fim, procurou-se estudar as reclamações efetuadas quer nos últimos dois anos, quer no período em análise e averiguar se a implementação de um sistema de controlo de processo semelhante ao implementado permitiria evitá-las.

Para a recolha dos dados foram utilizadas as plataformas digitais de suporte internas da Empresa e consultados documentos internos da Divisão de Qualidade.

Resumindo, é possível dividir os indicadores escolhidos em dois grupos distintos quanto à sua ênfase: produtividade e qualidade (Tabela 6).



Tabela 6 – Quadro resumo dos indicadores.

Produtividade	Qualidade
Eficiência a Quente	Rejeição de paletes por defeitos críticos
Rendimento de Fábrica	Defeitos críticos detetados
Rejeição nas MIL	Unidades bloqueadas em controlo de qualidade
	Reclamações

#### 4.6.1 Eficiência a Quente

Para a recolha e tratamento dos dados relativos à Eficiência a Quente, estes foram requisitados à equipa responsável pela manutenção das plataformas de suporte internas. O documento fornecido continha, porém, os dados brutos consistindo em dezenas de contadores com os registos a cada hora de inúmeras variáveis do processo, tais como a rejeição em cada uma das máquinas de rejeição. Procedeu-se à agregação dos dados por turno, ou seja, por conjuntos de oito horas, e obtenção dos valores diários recorrendo-se a uma Macro em Microsoft Excel desenvolvida especialmente para o efeito. A aplicação em questão foi realizada durante a terceira semana do projeto, tendo surgido inicialmente alguns problemas decorrentes da codificação associada ao registo dos dados nos servidores da Empresa. Depois de concluída a Macro, passou a ser possível obter os dados agregados em apenas alguns segundos, bastando recolher periodicamente os dados atualizados fornecidos. De realçar que o código foi sofrendo algumas alterações ao longo do projeto, conforme as necessidades e correções que foram surgindo. A folha de cálculo Excel com os dados em bruto e a folha resultante da Macro são também apresentados no Anexo L. Os resultados agregados para a Eficiência a Quente apresentam na Figura 28.

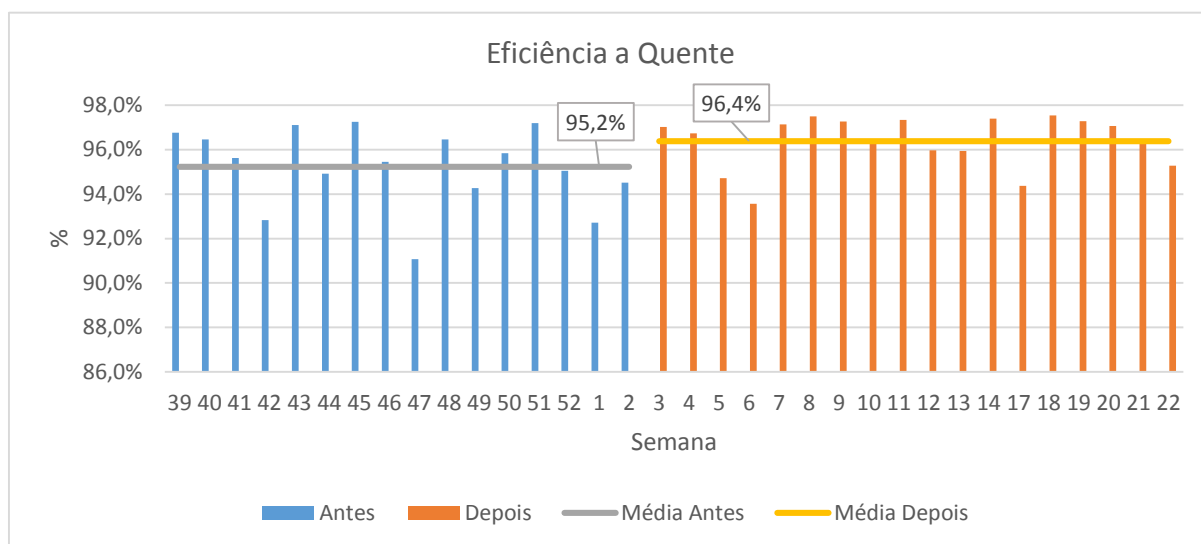


Figura 28 – Eficiência a Quente: antes e depois.

Um dos aspetos que se pretendia analisar era o impacto que a instalação do sistema teria na Eficiência a Quente e se as potencialidades de rejeição que apresenta conduziram à sua diminuição. No entanto, como se verifica na Figura 28, este índice não só não tem uma quebra, como regista mesmo uma melhoria considerável (1,2 pontos percentuais ou 1,3%).

#### 4.6.2 Rejeição nas MIL

Os dados relativos à rejeição nas MIL foram também obtidos a partir da Macro já mencionada. Na Figura 29 apresentam-se os resultados obtidos para os períodos com e sem o sistema.

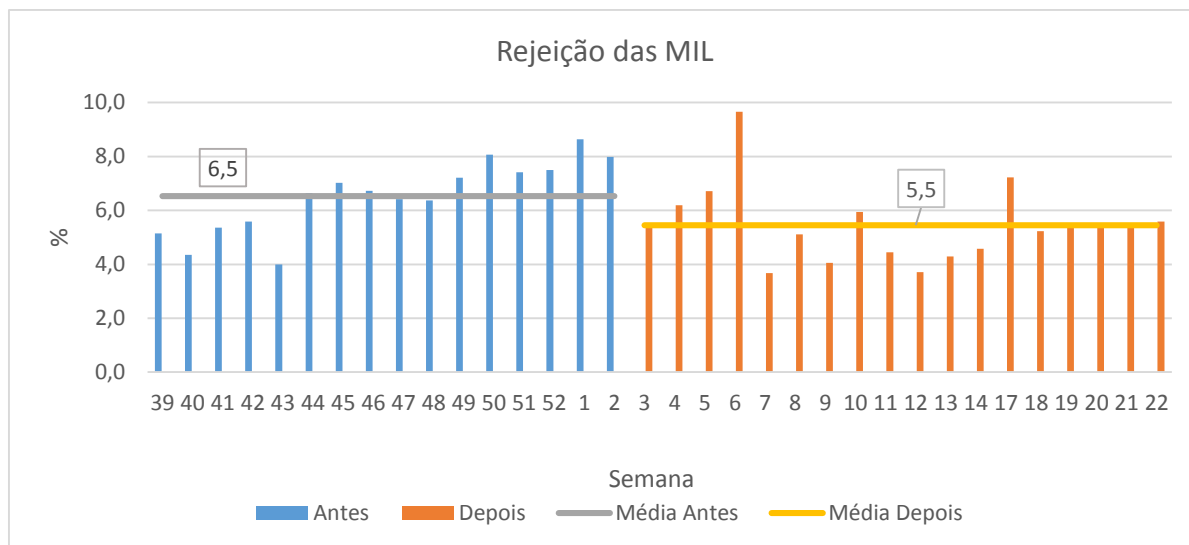


Figura 29 – Rejeição nas MIL: antes e depois.

Observando o gráfico, percebe-se que o valor médio da rejeição nas MIL diminuiu cerca de 1 ponto percentual (de 6,5% para 5,5%) no período após a implementação da máquina. Estes resultados acabam por vir de encontro ao esperado, uma vez que o sistema XPAR IR-D funciona como que um filtro antes da inspeção nas MIL devido às suas capacidades de rejeição. Seria portanto expectável que a rejeição nas MIL diminuísse, já que parte das embalagens defeituosas produzidas já haviam sido rejeitadas antes de as alcançarem. No entanto, o sistema não deteta a totalidade dos defeitos das embalagens, o que impede uma redução mais drástica dos valores de rejeição nas MIL.

Uma condicionante a ter conta no que toca à rejeição nas MIL na linha 41 é o módulo de PSL. Foram comuns os problemas de má aplicação do rótulo ao longo do período avaliado, associados em parte a características dimensionais das embalagens. Consequentemente, a tolerância a nível dimensional na inspeção das MIL era muito baixa.

#### 4.6.3 Rendimento de Fábrica

Na Figura 30 apresentam-se os dados relativos ao Rendimento de Fábrica.

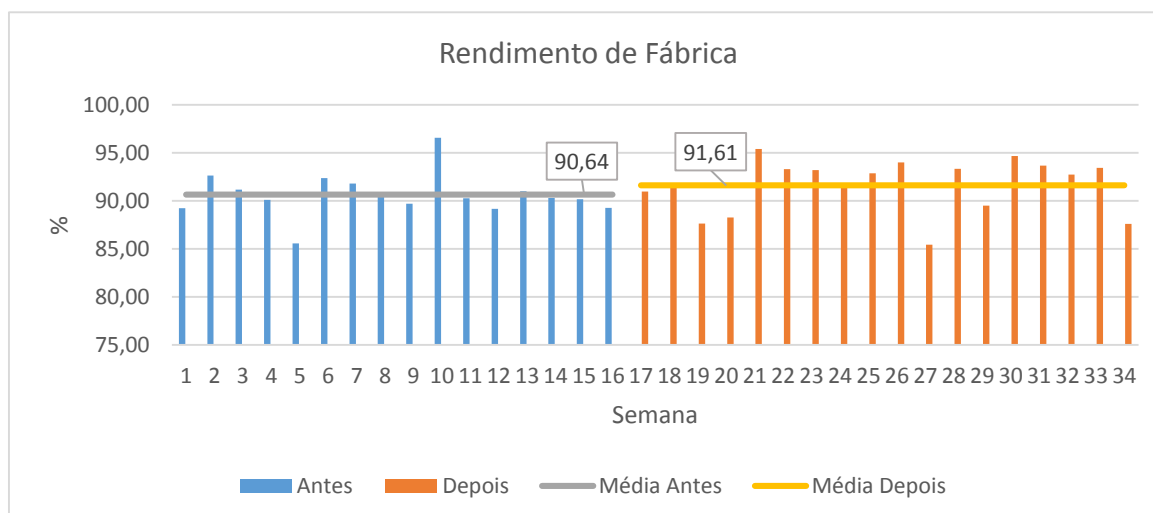


Figura 30 – Rendimento de Fábrica: antes e depois.

Mais uma vez os resultados mostram uma melhoria no período após a implementação do sistema. Como se mostrou nos pontos anteriores, quer a Eficiência a Quente, quer a rejeição nas MIL registam melhorias na ordem de 1 ponto percentual cada, contudo tal não se reflete num aumento acentuado do Rendimento de Fábrica. Seguindo a lógica do processo, tendo uma maior eficiência na Zona Quente e uma menor rejeição nas MIL da Zona Fria seria obtida uma maior produtividade global. Sendo os aumentos em cada uma das zonas de 1 ponto percentual, então o aumento total seria de 2 pontos percentuais, porém, verifica-se que o aumento do Rendimento de Fábrica foi de apenas 0,97 pontos percentuais. Tal situação deve-se mais uma vez ao efeito do PSL integrado: a rejeição devida ao PSL não está contabilizada na rejeição nas MIL (dado que ocorre após o processo de inspeção estar concluído) e conta, por isso, como uma variável de rejeição adicional a ter em consideração e uma limitação ao aumento da melhoria global. Outros fatores podem eventualmente conduzir a pequenas diferenças entre o valor de “Eficiência a Quente - % Rejeição nas MIL” e o Rendimento de Fábrica, tais como perdas por quedas de embalagens ou a sua utilização em ensaios, mas estas representam, geralmente, apenas quantidades residuais. Basicamente, na linha 41 uma maior eficiência nas Zonas Quente e Fria não implica necessariamente uma maior eficiência global devido à condicionante da decoração integrada.

#### 4.6.4 Defeitos críticos

A análise aos defeitos críticos era uma das mais importantes a efetuar no estudo do impacto do sistema. Pretendia-se perceber se este era, de facto, capaz de detetar eficazmente este tipo de defeito e se poderia constituir uma segurança adicional na garantia de qualidade.

Considerou-se interessante a análise não só ao número de defeitos detetados, mas também ao número de paletes rejeitadas devido a esses defeitos e analisar a sua evolução para averiguar se o sistema teria tido algum efeito neste indicador. Na Figura 31 apresenta-se a evolução do número de defeitos críticos detetados ao longo do período em análise.

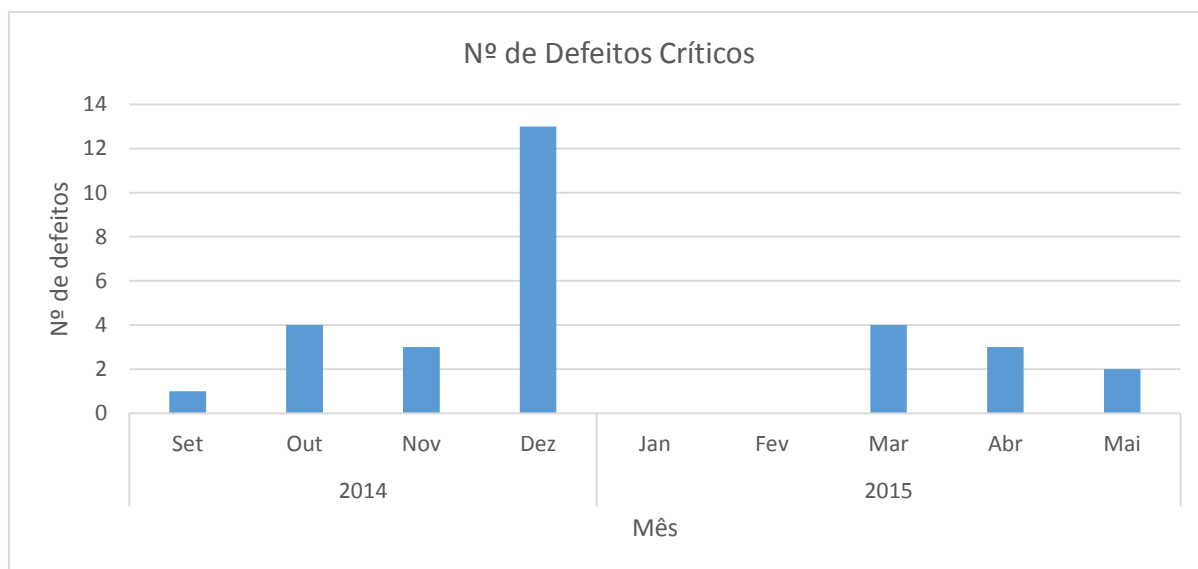


Figura 31 – Nº de defeitos críticos detetados.

É possível observar a ausência de defeitos críticos nos meses de janeiro e fevereiro, os únicos em que tal situação ocorreu. Note-se, porém, que o sistema só entrou em funcionamento na segunda quinzena do mês de janeiro e que na primeira metade do mês também não havia sido detetado qualquer defeito crítico. Destacar ainda, neste sentido, os meses de setembro e abril. Os dados relativos ao primeiro iniciam-se apenas a 22 de setembro, contendo apenas nove dias, e para o segundo há que considerar a ausência dos dados relativos às duas semanas de produção do vidro preto.

A propósito dos defeitos críticos considerou-se interessante avaliar o número de paletes que resultaram da sua deteção. Neste sentido, há que diferenciar duas situações distintas aquando da ocorrência de defeitos críticos – estes podem ter ou não um aviso da Zona Quente. O aviso consiste na deteção da ocorrência de um defeito e na sua comunicação através do *software* de comunicação interna. Na Figura 32 apresenta-se o número médio de paletes rejeitadas devido a defeitos críticos no período em análise.

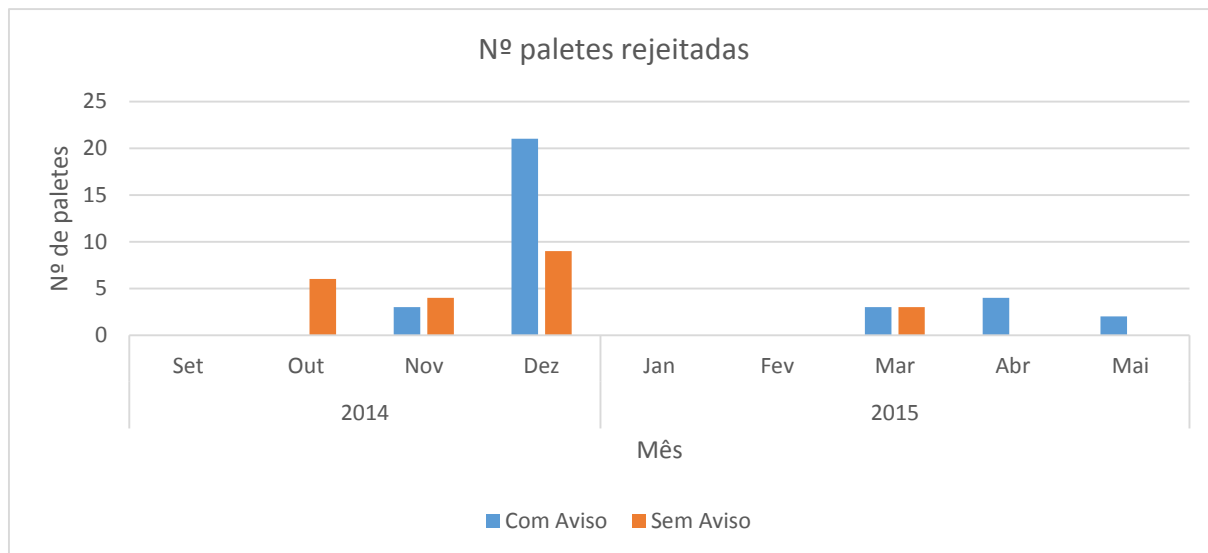


Figura 32 – Nº de paletes rejeitadas por defeitos críticos.

Verifica-se que após a implementação do sistema, apenas em março se regista rejeição de paletes sem aviso da Zona Quente, uma melhoria relativamente ao que se vinha registando nos três meses que o antecederam. Realça-se, porém, que a rejeição de paletes por defeitos críticos não desapareceu.

Torna-se interessante compreender o que conduziu à rejeição de paletes sem aviso no mês de março. Analisando os dados mais em detalhe, verifica-se que a rejeição de paletes se deveu a alguns casos de bolha interior na extremidade superior da embalagem, a marisa. Trata-se de uma zona muito exígua onde o sistema não é tão sensível e daí o facto de não permitir aos operadores perceber a ocorrência do defeito através da análise das imagens.

A deteção de defeitos críticos é uma das potencialidades mais interessantes da máquina, quer devido à sua capacidade de rejeição eficiente da maioria destes defeitos, quer também pela possibilidade de consultar as imagens registadas, mesmo de embalagens que não foram rejeitadas, e assim perceber se terá ocorrido algum defeito e reportar a sua ocorrência.

#### 4.6.5 Controlo de qualidade

Quando é detetado um defeito e este é reportado à Zona Fria, podem ser desencadeados mecanismos de controlo de qualidade que visam aferir se o defeito em causa está presente em embalagens já paletizadas. O sistema de controlo de processo instalado poderia ter, então, alguma influência na necessidade de enviar paletes para o controlo de qualidade devido a defeitos críticos são apresentados na Figura 33.

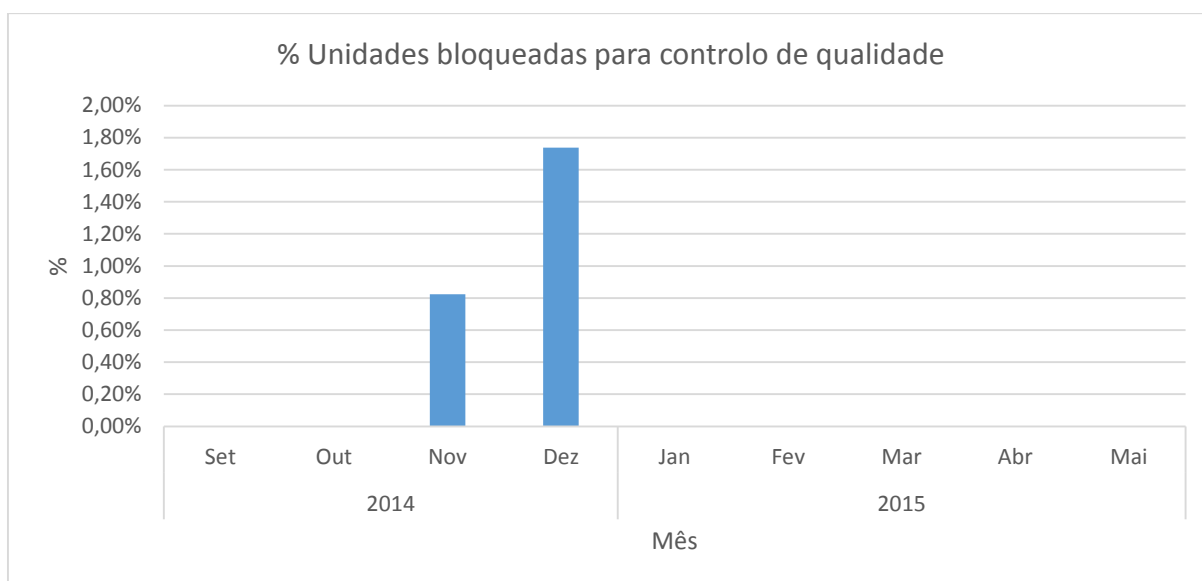


Figura 33 – % de unidades bloqueadas para controlo de qualidade devido a defeitos críticos.

Neste sentido, os resultados obtidos parecem indicar que a implementação do sistema terá sido benéfica em termos da necessidade de efetuar controlos de qualidade no que toca aos defeitos críticos. Desde que o sistema foi detetado não houve qualquer unidade bloqueada para controlo de qualidade. Basicamente, como as unidades defeituosas foram detetadas rapidamente não houve necessidade de armazenamento para posterior análise.

#### 4.6.6 Reclamações

A implementação de sistemas de controlo do processo visa essencialmente uma melhor compreensão do seu funcionamento e evolução, a capacidade de deteção de problemas mais facilmente e, por consequência, uma maior garantia de qualidade dos produtos entregues aos clientes. Neste sentido, seria crucial perceber qual a magnitude que a instalação de um equipamento desta natureza poderia ter nas reclamações de clientes.

Com este fim, foram avaliadas todas as reclamações devidas a problemas de produção registadas nos últimos dois anos com a ajuda dos responsáveis da qualidade, e aferida a possibilidade hipotética de os defeitos associados terem sido detetados e rejeitados se todas as linhas possuísem um equipamento semelhante ao XPAR IR-D. A análise a estas reclamações foi cuidadosa, tendo sido avaliadas uma a uma e percebidos os seus detalhes. No final, foi dado um parecer acerca da possível capacidade que o equipamento teria em detetar e rejeitar os defeitos que estavam na sua origem. Sempre que surgiram dúvidas acerca da eventual capacidade que o sistema teria em detetar os defeitos, considerou-se que estes não seriam detetados. Na Tabela 7 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 7 – Reclamações possivelmente evitadas com o sistema.

Período	% Reclamações possivelmente evitadas
2013 - 2014	25%
22/09/2014 – 31/05/2015	20%

Os valores obtidos são avassaladores, em ambos os períodos estima-se que pelo menos 20% das reclamações poderiam ter sido evitadas se existisse um equipamento XPAR IR-D na linha de produção. São números consideráveis e que poderão ter um impacto significativo na perceção de qualidade por parte dos clientes.

No particular da linha 41 para o período em análise, todas as reclamações foram devidas a problemas na aplicação do PSL, não tendo havido qualquer reclamação relativa a problemas na produção.

Realce-se que este estudo é apenas uma estimativa e que os resultados reais poderiam ser inferiores. Contudo, é inegável que um sistema como este poderá trazer efeitos positivos ao nível de reclamações.

#### **4.7 Alteração da cor para vidro preto**

A mudança de fabrico para o vidro de cor preta na linha 41 funcionou como mais um interessante caso de estudo sobre as capacidades e potencialidades do sistema XPAR IR-D no âmbito da produção de embalagens de vidro. O fabrico de embalagens de cor preta caracteriza-se por uma enorme dificuldade em inspecionar as unidades produzidas, já que a maioria das MIL recorrem ao uso de feixes de luz (radiação) para examinar as embalagens e, no caso do vidro preto, isto não é possível devido à grande absorção de luz por parte do vidro. O controlo de qualidade é por isso feito recorrendo às MIL responsáveis pelos controlos dimensionais e a serviços externos especialmente contratados para o efeito. Estes serviços realizam uma inspeção baseada no uso de técnicas rudimentares: as embalagens são testadas ao choque manualmente com o auxílio de pequenos martelos e são passadas através painéis luminosos instalados nas linhas, onde um verificador as inspeciona de forma a verificar a presença de defeitos.

Embora não seja usual a utilização de equipamentos XPAR IR-D em linhas de produção de embalagens de vidro preto (cuja produção não é também usual, devido às condicionantes já enunciadas), esta apresentou-se como uma ferramenta adicional potencialmente útil na sua inspeção, pois funcionaria como um filtro prévio à inspeção manual e poderia permitir a deteção de defeitos que não seriam de outra forma encontrados. Contudo, tornou-se necessário avaliar a qualidade da sua análise recorrendo-se para isso a um estudo extensivo das imagens geradas pelas câmaras do equipamento após a afinação e calibre do sistema, isto porque as embalagens de cor preta emitem mais radiação (corpo negro é um emissor perfeito).

Note-se ainda que este fabrico de uma semana funcionou como um curto teste ao funcionamento do sistema em embalagens produzidas através do processo de SS, ao invés do NNPB, o processo utilizado no fabrico dos modelos 1162 e 1262. O SS é um processo em que a distribuição de vidro ao longo da embalagem não é tão uniforme e está, geralmente, associado a embalagens de maiores dimensões, como era o caso.

Dada a especificidade e dificuldade da tarefa, foi essencial a assistência de um consultor da XPAR Vision que visitou a fábrica após a mudança de cor para o vidro preto e a mudança de fabrico na máquina IS, tendo auxiliando na afinação posterior do equipamento. A sua presença possibilitou a troca de informações e esclarecimento de diversas dúvidas, bem como o contacto com um procedimento metódico na preparação e afinação dos diversos parâmetros da máquina, cuja duração total foi de dois dias.

Foram estabelecidos os diversos módulos de rejeição e recolha de imagens do sistema passo a passo, tendo cada um deles sido revisto e reavaliado de forma a serem afinados os parâmetros e intervalos de rejeição – se considerado necessário depois das devidas verificações.

No Anexo M apresentam-se várias imagens capturadas durante a produção do vidro preto que mostram a deteção de defeitos através do sistema XPAR IR-D, alguns dos quais nunca haviam sido detetados para o vidro preto. O sistema veio também melhorar a capacidade de inspeção visual das embalagens feita pelos operadores (que se revela pouco eficaz para o vidro preto) com o recurso às imagens termográficas.

#### 4.8 Melhorias realizadas

Com o evoluir do projeto e a maior preocupação com os resultados obtidos na linha 41, os dados desta linha passaram a ser mais consultados através do programa interno da fábrica utilizado para o efeito. O programa permite visualizar um quadro geral com indicadores como a Eficiência a Quente ou Rejeição nas MIL (total e por máquina) para cada uma das linhas e também um outro quadro onde é possível consultar a situação de cada linha mais pormenorizadamente. Neste contexto, foi descoberto um erro na linha 41, pois os valores da Rejeição nas MIL nos dois quadros não coincidiam. O problema foi reportado e resolvido e com isto passou também a integrar-se a XPAR IR-D no quadro geral do programa. As imagens com a exposição deste problema podem ser consultadas no Anexo N.

O projeto XPAR IR-D foi adquirindo relevância com o decorrer do tempo. Prova disto é a inclusão do mesmo como tópico diário nas reuniões da manhã. Nestas reuniões estão presentes os responsáveis de cada uma das divisões da fábrica (como a Fusão e Composição, a Manutenção, a Zona Fria, a Qualidade ou a Fabricação), bem como os Chefes de Serviço e o Diretor Fabril e são discutidos os problemas a resolver e a situação da fábrica. Os problemas detetados pela XPAR IR-D passaram também a ser discutidos diariamente.

#### 4.9 Análise Custo-Benefício

Após o estudo realizado acerca da implementação do sistema e avaliados os principais resultados obtidos, tornava-se relevante sumarizar os benefícios e custos associados ao projeto. Nesse sentido, apresenta-se na Tabela 8 um quadro com as potenciais vantagens e desvantagens identificadas.

Tabela 8 – Vantagens e desvantagens do sistema.

Vantagens	Desvantagens
<p>Maior controlo do processo produtivo.</p> <p>Ajuste mais rápido da máquina IS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior Eficiência a Quente;</li> <li>• Menor rejeição nas MIL.</li> </ul> <p>Menor número de defeitos críticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos reclamações;</li> <li>• Menos tempo perdido em controlo de qualidade e reescolha.</li> </ul> <p>Menor número de defeitos.</p> <p>Possibilidade de inspecionar embalagens de vidro preto.</p>	<p>Custo do equipamento (instalação e manutenção).</p> <p>Necessidade de um responsável, pelo menos numa fase inicial.</p> <p>Tempo perdido em formações.</p> <p>Necessidade de implementar novos procedimentos.</p>

No que diz respeito às vantagens, nem todos os tópicos mencionados são fáceis de quantificar. Um maior controlo do processo produtivo tem diversas vantagens, entre as quais se citam uma maior garantia de qualidade e a facilitação da identificação das causas de variabilidade para a sua eliminação. O operador tem a possibilidade de perceber qual o estado de cada cavidade ao nível da distribuição da intensidade de radiação, ou seja, do vidro, nas embalagens e da ocorrência de defeitos. Deste modo, aumenta a sua capacidade de prevenção através do ajuste mais rápido das máquinas IS, e o impacto reflete-se, por exemplo, pelo menor número de embalagens rejeitadas nas MIL da Zona Fria. Observou-se já neste capítulo que a taxa de rejeição nas MIL diminuiu, de facto, após a implementação do sistema e embora isso possa não

se dever única e exclusivamente a este fator, a sua influência deve ser considerada. Ao mesmo tempo, este ajuste mais rápido também permite um aumento em termos da Eficiência a Quente. No entanto, trata-se de uma vantagem difícil de quantificar em termos monetários.

A diminuição da incidência de defeitos e, acima de tudo, dos defeitos críticos é, porventura, uma das maiores vantagens do sistema, e talvez aquela cuja quantificação tem mais impacto na qualidade. Os benefícios verificam-se sob a forma de tempo poupado em controlos de qualidade (o controlo de qualidade requer, em média, 4 horas por palete para modelos com PSL) e, principalmente, num menor número de reclamações. Recuperando os dados mencionados anteriormente acerca das reclamações possivelmente evitadas com o sistema, indicara-se que os números rondavam os 25% para os últimos dois anos e 20% no período entre 22 de setembro de 2014 e 31 de maio de 2015. Procedeu-se então ao levantamento das indemnizações associadas a estas reclamações e concluiu-se que o valor total se cifra em cerca de €95.000. Porém, para que tal fosse possível teriam de ser instalados sistemas em todas as linhas de produção, o que implicaria um investimento total de  $€200.000 \times 11 \text{ linhas} = €2.200.000$ . Apesar das inúmeras vantagens que poderiam advir da redução do número de reclamações, entre as quais se refere o tempo gasto no seu tratamento e o efeito positivo na confiança dos clientes, esta não justifica, em termos meramente de excedente económico, a aquisição de todos estes equipamentos.

Para formular uma estimativa realista da rentabilidade do investimento, procedeu-se ao cálculo do seu Período de Recuperação Atualizado (doravante designado apenas por Período de Recuperação) a preços constantes, com o objetivo de perceber se o mesmo seria rentável ao fim de 2 anos. Uma vez que se trata de uma situação com alguma incerteza associada, seria inevitável ter considerar alguns pressupostos, que se procurou serem tão realistas quanto possível para que a estimativa fosse válida. Na elaboração dos *cash flows* do projeto, ou seja, os *cash flows* diferenciais para a Empresa com e sem o projeto, consideraram-se os pressupostos descritos de seguida.

1. É uma estimativa realista a melhoria da taxa de rejeição do sistema, cujo valor médio desde a implementação se cifra nos 0,69%. A progressiva familiarização com o sistema, aliada à espetável adição de procedimentos que envolvam a sua consulta, permitem afirmar com alguma segurança que será possível reduzi-la em 0,15 pontos percentuais, até aos 0,54% (cenário 1). Estes procedimentos contribuirão para aumentar a atenção dada à rejeição devida ao equipamento e, consequentemente, à realização mais frequente de ajustes na máquina IS. Apesar da taxa de rejeição registada durante o período em análise ter sido igual ou inferior a este valor em apenas quatro das dezoito semanas de funcionamento (cerca de 22% do tempo), considera-se que os fatores mencionados permitirão alcançar esta diminuição. Se os operadores aumentarem a frequência das suas consultas, este valor poderá diminuir ainda mais. Refira-se ainda que uma melhoria de 0,15 pontos percentuais na taxa de rejeição do sistema XPAR IR-D representa um aumento líquido de 0,15 pontos percentuais na Eficiência a Quente, pois mais embalagens conformes (segundo o sistema) irão chegar à arca de recozimento. No caso da não existência do equipamento, a evolução da Eficiência a Quente é imprevisível, e por isso considera-se que se irá manter igual à média atual (96,4%). Foram ainda considerados dois outros cenários com diferentes diminuições da taxa de rejeição, um mais pessimista (0,10 pontos percentuais) e o outro mais otimista (0,19 pontos percentuais), os cenários 2 e 3, respetivamente;
2. Considera-se também para a situação com projeto que a Rejeição nas MIL se mantém igual à atual. No caso da situação sem projeto, esta irá necessariamente aumentar, pois deixará de existir um filtro das unidades que atingem a Zona Fria. Este aumento seria teoricamente igual à taxa de rejeição do equipamento, todavia, há-que contar com a rejeição devida a unidades coladas (que não chegariam às MIL de qualquer forma) ou à eventual rejeição de unidades conformes pelo sistema (que passariam nas MIL).



Determinou-se, assim, que a rejeição nas MIL aumentaria apenas 0,4 pontos percentuais para a situação sem projeto;

3. O preço de venda é sempre uma variável difícil de prever. Como tal, considerou-se uma estimativa de €310/tonelada para ambos os modelos (1162 e 1262), um valor abaixo da média registada nos últimos meses. Utilizando os dados relativos às características de cadência, peso e tempo de produção de cada modelo (já apresentados anteriormente), foram obtidos os valores para o diferencial. Note-se que o diferencial dos gastos associados à produção é nulo, pois a produção de embalagens nas máquinas IS é ininterrupta e ocorreria para qual um dos cenários;
4. Contabilizou-se ainda o valor gasto com a alimentação elétrica ao equipamento, considerando-se para esse fim o consumo máximo indicado no manual técnico do mesmo. Para a situação sem projeto este valor seria nulo;
5. Por fim, é admitido um tempo de vida útil de dez anos para o equipamento no âmbito dos cálculos e utilizado o método das depreciações constantes. O valor de mercado em qualquer momento é estimado como equivalente ao valor contabilístico.

O mapa de *cash flows* resultante, assim como a determinação do Período de Recuperação, são apresentados no Anexo O. Para efeitos de cálculo é elaborado um Período de Recuperação simplificado e utilizado o Custo Médio Ponderado de Capital para atualizar os *cash flows* futuros. Este valor representa o custo de oportunidade da utilização do capital da Empresa, considerando 80% de capital externo, no projeto. Para o efeito dos cálculos foi utilizada uma taxa de 4% e considerou-se ainda uma inflação de 1% para a determinação dos valores das depreciações.

De acordo com os pressupostos considerados, o investimento não é recuperável ao fim de dois anos por uma diferença de €18.656,98 (Tabela 12 do Anexo O), para o cenário 1. O mesmo de averiguou para a situação a três anos, com uma diferença negativa de €26.180,96 – de facto, esta diferença vai aumentando com o tempo ao longo dos dez anos de vida útil do equipamento, derivado do valor residual sucessivamente menor. É ainda possível observar que a redução alcançada na taxa de rejeição do sistema será um elemento chave para os resultados obtidos. Contando com uma diminuição de 0,10 pontos percentuais ao invés de 0,15 (cenário 2), o saldo obtido seria ainda menor: - €24.735,28 ao fim de dois anos. No limite, se esta taxa passasse a 0,5% (cenário 3), o saldo obtido seria também negativo porém superior aos restantes cenários: - €13.794,34.

Conclui-se assim, que baseando a decisão única e exclusivamente nos resultados quantificáveis de entrada e saída de dinheiro, explícitos no Período de Recuperação a dois anos para a linha 41, que o investimento não deve avançar. No entanto, nestes resultados não são quantificados outros benefícios, intangíveis, trazidos pelo projeto, tais como o maior controlo sobre o processo produtivo, a maior monitorização possibilitada, a minimização da incidência de defeitos, nomeadamente os críticos, e a redução da possibilidade de reclamações. Estes dois últimos aspetos são particularmente relevantes na estratégia da Empresa, assim como deve ser a procura constante de melhoria contínua. Como tal, considera-se que o proveito proveniente destes benefícios adicionais poderá até superar a diferença obtida ao fim de dois anos no pior dos cenários apresentados (€24.735,28), o cenário 2. Realce-se que nenhum dos cenários considerados aponta para a rentabilização do investimento em dez anos. Porém, tendo tudo isto em conta, e acrescentando a estabilidade financeira do grupo BA, a possibilidade de obtenção de resultados superiores com a instalação noutras linhas e os benefícios intangíveis resultantes ao nível da garantia de qualidade dos produtos e controlo do processo produtivo por parte dos operadores julga-se que o avançar do projeto seria, no global, benéfico para o grupo.

## 5 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Grandes grupos vidreiros, como a BA Vidro, estão expostos à pressão constante que advém da produção em grandes quantidades e, ao mesmo tempo, à necessidade de respeitar as exigências e especificações dos clientes em termos de qualidade.

O projeto assumiu dois desafios principais: o método de implementação do sistema na rotina dos operadores da fábrica e os resultados provenientes desta implementação. Inicialmente foram sentidas algumas dificuldades decorrentes do desconhecimento e alguma desconfiança das pessoas relativamente ao equipamento, mas, com o evoluir do projeto, estas foram-se dissipando. As formações facultadas fora do ambiente fabril e no dia-a-dia dos turnos possibilitaram demonstrar como o sistema pode, de facto, ter impacto no seu trabalho e, acima de tudo, como pode facilitá-lo.

No âmbito da análise aos indicadores de produtividade e qualidade, averiguou-se, numa primeira fase, se existiriam diferenças significativas entre os dois modelos produzidos. A observação dessas diferenças indicou que estas seriam ténues e, por isso, não se considerou prioritário proceder a um estudo mais detalhado. Contudo, o estudo da variabilidade dos resultados por modelo produzido seria algo pertinente a proceder no futuro, nomeadamente ao nível da incidência de defeitos, para se identificar se há defeitos mais característicos de cada um deles.

Os resultados obtidos ao nível dos indicadores de produtividade são, porém, pouco claros. A medição de indicadores num processo tão complexo torna praticamente impossível isolar o efeito de um sistema como o XPAR IR-D. No entanto, realça-se que todos estes indicadores (da Zona Quente, da Zona Fria e o global da linha) registaram uma melhoria de cerca de um ponto percentual. Destaque-se, contudo, que numa indústria em que a produção é quase ininterrupta, uma melhoria de um ponto percentual traduz-se num aumento de milhares de embalagens por mês.

O impacto desta implementação nos indicadores de qualidade corrobora-se com a diminuição da deteção e rejeição por defeitos críticos, nas unidades enviadas para controlo de qualidade e nas reclamações de produção. A propósito deste último aspeto, foi feita uma estimativa do impacto que a instalação do sistema em todas as linhas de produção haveria tido no conjunto das reclamações registadas nos dois anos precedentes. Verificou-se que a redução atingiria possivelmente os 25%, um valor significativo que implicaria uma diminuição das despesas devidas a indemnizações e com efeitos potencialmente positivos nos clientes, embora de difícil mensuração.

Todavia, os custos inerentes à aquisição de cada sistema são elevados e funcionam como o principal entrave à sua aquisição e sua reprodução para as restantes linhas. Um investimento desta ordem de grandeza não pode ser feito sem a garantia de retorno, caso uma empresa se pretenda manter sustentável. Daí a elaboração de Períodos de Recuperação Atualizados, seguindo vários cenários diferentes com vista a perceber a rentabilidade do investimento. Verificou-se que, mesmo no cenário mais favorável, este não é rentável ao fim de dez anos na linha 41, baseando as conclusões apenas na quantificação dos resultados de produção. No

entanto, diversos benefícios intangíveis e dificilmente quantificáveis adviriam da maior garantia de qualidade e melhor controlo do processo atingidos, tornando, assim, o projeto apelativo para a empresa e resultando num saldo global possivelmente positivo em termos de rentabilidade.

A aposta nestes sistemas de controlo do processo coaduna-se com uma empresa competitiva e em busca de melhoria contínua nos seus processos mais sensíveis. As potenciais mais-valias que advêm de um controlo do processo mais rigoroso e da capacidade de monitorizar cada embalagem produzida logo após a sua moldação são enormes. No entanto, um investimento nesta tecnologia só deve ser feito se a Empresa se comprometer realmente com o projeto, caso contrário nunca serão explorados todos os benefícios proporcionados. A envolvimento das chefias será sem dúvida determinante para o seu sucesso – estas terão de mostrar que acreditam nele verdadeiramente, pois só assim existirá realmente a consciencialização dos operadores sobre a importância do uso do equipamento. Esta é a base da existência das chefias, segundo Imai (2012), pois devem manter uma relação próxima com a produção (onde tudo acontece) e ajudar tanto quanto possível a eliminar as limitações vividas pelos operadores.

O projeto foi apresentado à Direção Executiva da BA Vidro no início de junho de 2015. Algumas das sugestões feitas no final dessa apresentação passaram pela possibilidade de testar o sistema noutras linhas, com processos produtivos diferentes e com maior variabilidade associada. Foi também abordada a hipótese de transferir os equipamentos XPAR IR-D que se encontram nas fábricas da Polónia e para a fábrica de Avintes, de forma a tirar maior partido destes recursos que se encontram, de momento, pouco explorados. Deste modo, evitar-se-ia incorrer em investimentos avultados e poderiam ser utilizados recursos subaproveitados.

Um fator que será determinante para a obtenção de resultados progressivamente melhores é a otimização do próprio sistema. Ao longo do projeto ocorreu uma atualização do *software*, sendo a próxima esperada até ao início de setembro de 2015. As melhorias passam, sobretudo, pela minimização da influência dos responsáveis do sistema na sua calibração, com vista a uma maior objetividade. Espera-se também assim diminuir o tempo necessário para o *setup* da máquina nas mudanças de fabrico. Um constante desenvolvimento do ponto de vista da interface com o utilizador será essencial para a facilitação das consultas e a simplificação do processo de aprendizagem por parte de novos colaboradores.

Na perspetiva de continuação do trabalho desenvolvido e se a BA Vidro optar pela aquisição do equipamento ou pela deslocalização dos equipamentos já existentes nas fábricas da Polónia, propõe-se a definição de procedimentos de trabalho mais detalhados para que se tire partido de todas as potencialidades de controlo do processo que os mesmos oferecem. Tal contribuirá para reduzir a influência do fator humano no aproveitamento do sistema e atingir resultados mais consistentes entre turnos ao longo do tempo.

A Empresa poderá, assim, identificar mais oportunidades de melhoria, eliminar ou prevenir a ocorrência de defeitos na produção e sistematicamente reduzir as fontes de variabilidade do processo. Como consequência, será capaz de vender produtos com uma garantia de qualidade incrementada e reforçar ainda mais a sua posição na indústria em que se insere.

## Referências

- AEP. 2006. "O que é a certificação da qualidade?". Acedido a 15 de junho de 2015.
- Almada-Lobo, Bernardo Sobrinho Simões de. 2007. "Lotsizing and Scheduling in the Glass Container Industry", Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Alves, Jorge Fernandes. 2012. *BA - Marca com história no vidro de embalagem*. BA Vidro, S.A.
- APS. 2002. "This Month in Physics History - October 1900: Planck's Formula for Black Body Radiation". *APS News* no. 11 (10):2. <http://www.aps.org/publications/apsnews/200210/upload/oct02.pdf>.
- Caldeira, Jorge. 2001. "Período de Recuperação do Investimento - PRI". Acedido a 16 de junho de 2015. <http://www.iapmei.pt/iapmei-art-03.php?id=578>.
- Chapman, Kenneth L. 1994. *Controlo Estatístico de Processos: Manual de Treino Preparado para Barbosa & Almeida, SA*. Quarta Edição ed.: The Kenneth L. Chapman Group Inc.
- Crosby, Philip B. 1979. *Quality is Free: The Art of Making Quality Certain*. McGraw-Hill.
- Deming, William E. 2000. *Out of the Crisis*. MIT Press.
- Dixit, R.K. e R.S. Pindyck. 1994. *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press.
- Edwards, C.H. e D.E. Penney. 2002. *Calculus*. Prentice Hall.
- Faria, José A. 2014. Fundamentos de Gestão da Qualidade: Custos da Qualidade. editado por Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Moodle U.PORTO.
- Ferdows, K. e A. De Meyer. 1990. "Lasting Improvements in Manufacturing Performance: In Search of a New Theory". *Journal of Operations Management* no. 9 (2):168-184.
- FEVE. 2009. "EU Industry Map: Map of the EU container glass industry". Acedido a 20 de março de 2015. [http://feve.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5&Itemid=6](http://feve.org/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=6).
- FLIR Systems. 2015. "What is Infrared?". Acedido a 10 de junho de 2015. <http://www.flir.com/thermography/americas/en/view/?id=55680>.
- Frank, Robert H. e Ben S. Bernanke. 2003. *Princípios de Economia*. McGraw-Hill.
- Garvin, David A. 1987. "Competing on the Eight Dimensions of Quality". *Harvard Business Review* (November):101-109.
- Iberogestão. 2014. *Controlo Estatístico do Processo*. Iberogestão.
- Imai, Masaaki. 2012. *Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy, Second Edition*. McGraw-Hill Education.
- Ircon. 2015. "Industry Applications - Other Applications". Acedido a 10 de junho de 2015. <http://www.ircon.com/Ircon/en-r0/IndustryApplications/OtherIndustrialSolutions/>.

- ISO. 2015. "ISO 9000 - Quality management". Acedido a 15 de junho de 2015. [http://www.iso.org/iso/iso\\_9000](http://www.iso.org/iso/iso_9000).
- Juran, Joseph M. e A. Blanton Godfrey. 1999. *Juran's Quality Handbook*. McGraw Hill.
- Juran, Joseph M. e F.M. Gryna. 1993. *Quality Planning and Analysis: From Product Development Through Use*. McGraw-Hill.
- Lopes, Maria Dulce S. 2012. *Elaboração e Análise de Projetos de Investimento*. FEUP Edições.
- Montgomery, Douglas C. 2009. *Introduction to Statistical Quality Control*. Sixth Edition ed.: John Wiley & Sons, Inc.
- NASA. 2013. "The Electromagnetic Spectrum". Acedido a 5 de junho de 2015. <http://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html>.
- New, Colin. 1992. "World-class Manufacturing versus Strategic Trade-offs". *International Journal of Operations & Production Management* no. 12 (4):19-31. <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/EUM0000000001298>.
- Peterson, P.P. e F.J. Fabozzi. 2002. *Capital Budgeting: Theory and Practice*. John Wiley & Sons, Inc.
- Portugal, Paulo. 2007. "Radiações electromagnéticas". Acedido a 1 de junho de 2015. <http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/CHYMICA/REM/REM.html>.
- Rosenzweig, Eve D. e George S. Easton. 2010. "Tradeoffs in Manufacturing? A Meta-Analysis and Critique of the Literature". *Production and Operations Management* no. 19 (2):127-141. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1937-5956.2009.01072.x>.
- Sen, Amartya Kumar. 2000. "The discipline of cost-benefit analysis". *Journal of Legal Studies* (29(S2)):931-952.
- Silveira, Giovani Da e Nigel Slack. 2001. "Exploring the trade-off concept". *International Journal of Operations & Production Management* no. 21 (7):949-964. <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/01443570110393432>.
- Snell, John e Michael Stuart. 2009. *Introduction to Thermography*. American Technical Publishers, Inc., Fluke Corporation and The Snell Group.
- Vlasak, Weldon. 2001. "Planck's theory and thermodynamics". *Chemical Innovation* no. 31 (2):56-59.
- XPAR Vision. 2015. "References". Acedido a 1 de março de 2015. <http://www.xparvision.nl/references>.

## ANEXO A Produção de vidro por setor na União Europeia

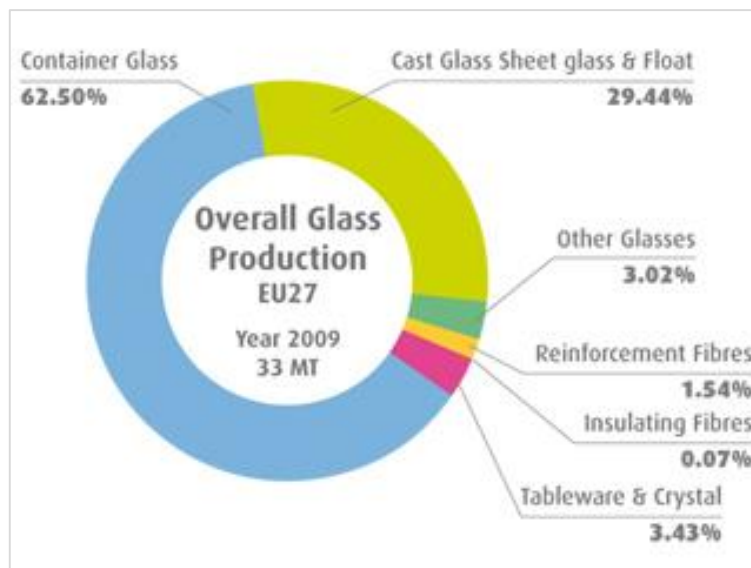


Figura 34 – Produção de vidro por setor na União Europeia.

Fonte: (FEVE 2009).

## ANEXO B Estrutura do grupo BA Vidro

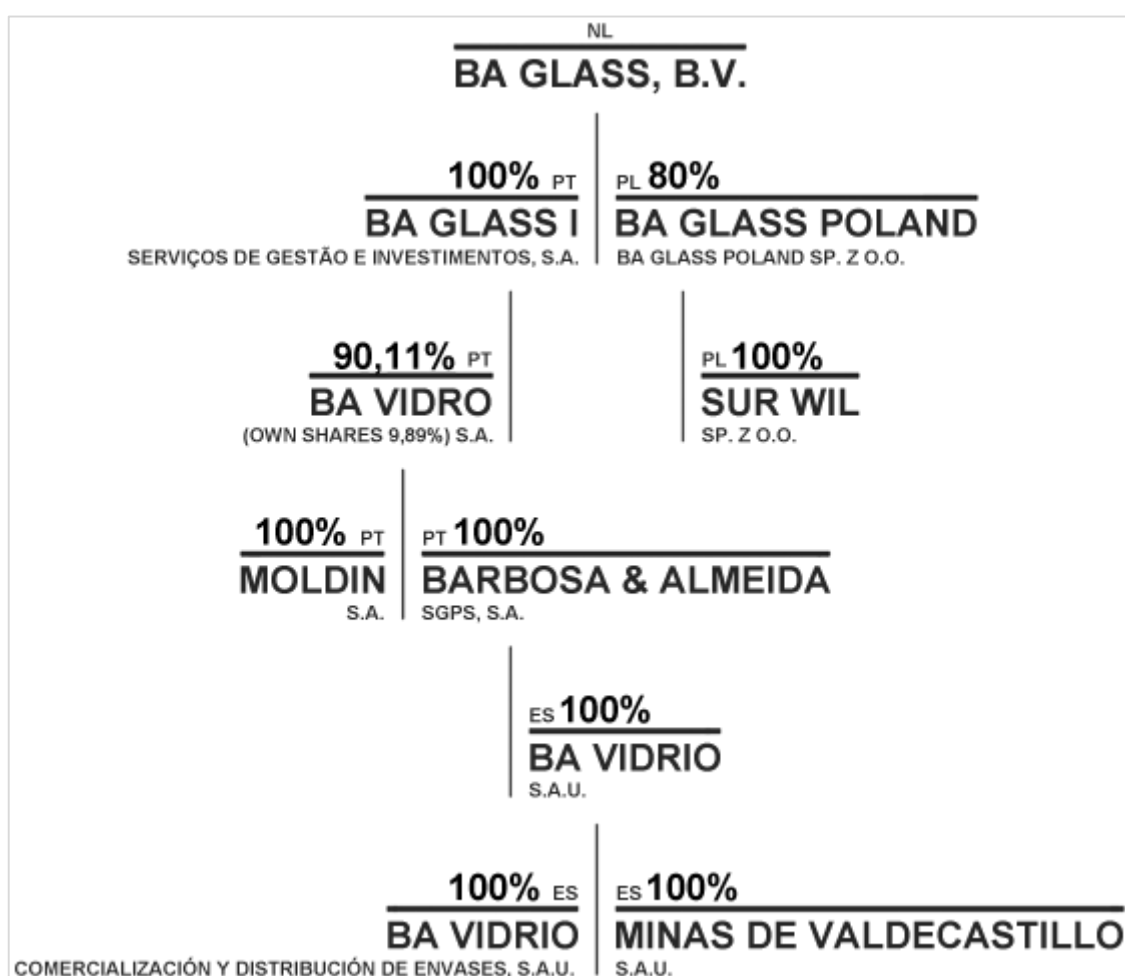


Figura 35 – Estrutura atual do grupo BA Vidro.

## ANEXO C Cronograma do Projeto

Código	Ação / Designação	Participantes	Data Fecho	IMPLEMENTADO		VALIDAÇÃO
				Não	Sim	
<b>A</b>	Fazer diagnóstico da situação inicial	PB				Relatório do Diagnóstico
Planeado						
Realizado			Rubrica:			
<b>B</b>	Pesquisar e estudar informação relevante relativa ao equipamento e ao processo alvo	PB				Relatório da Avaliação Inicial
Planeado						
Realizado			Rubrica:			
<b>C</b>	Definir indicadores e recolher dados	PB / RM				Métrica dos Indicadores / Metas
Planeado						
Realizado			Rubrica:			
<b>D</b>	Tratar dados e elaborar gráficos e tabelas	PB / RM				Folhas de cálculo dos resultados
Planeado						
Realizado			Rubrica:			
<b>E</b>	Elaborar procedimentos e manual para utilização do equipamento e monitorização da linha alvo	PB				Aprovação / Divulgação do Manual
Planeado						
Realizado			Rubrica:			
<b>F</b>	Implementar procedimentos de utilização do equipamento e monitorização da linha alvo	PB				Registo das Formações / Avaliação de conhecimento
Planeado						
Realizado			Rubrica:			
<b>G</b>	Análise custo/benefício	PB / RM				Relatório de Avaliação Final
Planeado						
Realizado			Rubrica:			
<b>H</b>	Acompanhamento do projeto	PB / RM / HP				Atas das Reuniões
Planeado						
Realizado			Data Fecho:			
<b>I</b>	Desenvolvimento da dissertação	PB				Dissertação - versão final
Planeado						
Realizado			Data Fecho:			
SIGLAS ▶	HP – Prof. Hermenegildo Pereira / Orientador FEUP PB – Pedro Barros / ALUNO FEUP-MIEIG RM – Eng. Rui Matos / ORIENTADOR EMPRESA	DATAS RELEVANTES ▶	12 de junho 2015	Data limite para alteração do título		
			23 de junho 2015	Entrega de versão "draft" (completa)		
			1 de julho 2015	Entrega de versão final "pdf" + "CD"		
			8 a 17 de julho 2015	Apresentação/avaliação por Júri		
			27 de julho 2015	Entrega de versão definitiva só em "CD"		

Figura 36 – Cronograma do Projeto.



## ANEXO D Relação intensidade/espessura

Pretende-se demonstrar a validade da aproximação descrita na equação (2.3). Desenvolvendo a aproximação descrita, obtém-se:

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{k (1 - e^{-\alpha \Delta d}) \times CN_{\lambda}(T)}{k (1 - e^{-\alpha d}) \times CN_{\lambda}(T)} \quad (D.1)$$

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{(1 - e^{-\alpha \Delta d})}{(1 - e^{-\alpha d})} \quad (D.2)$$

No âmbito desta demonstração irá ser feita uma aproximação de  $e^{-x}$  através da função  $1 - x$ , recorrendo à Série de Taylor. A primeira função pode ser expressa por:

$$f(x) = e^{-x} \quad (D.3)$$

Expressando  $f(x)$  em torno de 0 através da Série de Taylor vem:

$$P_{n,0}(x) = \sum_{k=0}^n \frac{(-1)^k}{k!} x^k \quad (D.4)$$

$$P_{n,0}(x) = 1 - x + \frac{x^2}{2!} - \frac{x^3}{3!} + \dots + (-1)^n \frac{x^n}{n!} \quad (D.5)$$

A expressão inicial será o resultado da soma do polinómio de Taylor de grau n e do resto:

$$f(x) = P_{n,0}(x) + R_{n,0}(x) \quad (D.6)$$

Onde:

$P_{n,0}(x)$ , é o polinómio de Taylor de grau n.

$R_{n,0}(x)$ , é o erro ou resto associado à aproximação de grau n.

Segundo Edwards e Penney (2002),  $R_{n,0}(x)$  pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$R_{n,0}(x) = \frac{f^{(n+1)}(z)}{(n+1)!} x^{n+1}, \quad (x < z < 0 \vee 0 < z < x) \quad (D.7)$$

$$R_{n,0}(x) = \frac{(-1)^{n+1} e^{-z}}{(n+1)!} x^{n+1} \quad (D.8)$$

$$|R| = \left| \frac{(-1)^k}{(n+1)!} \frac{x^{n+1}}{e^z} \right| = \frac{1}{(n+1)!} \frac{|x^{n+1}|}{e^z} \quad (D.9)$$

Para  $n=1$ , ou seja,  $e^{-x} \approx 1 - x$  vem:

$$|R_{1,0}(x)| \leq \frac{1}{2} \frac{|x^2|}{e^z}, \quad (x < z < 0 \vee 0 < z < x) \quad (D.10)$$

$$x \in [0, \Delta], \quad 0 < z < \Delta \quad (D.11)$$

$$e^0 = 1 < e^z < e^\Delta \quad (D.12)$$

$$\frac{1}{e^\Delta} < \frac{1}{e^z} < 1 \quad (D.13)$$

$$\frac{1}{e^\Delta} 0,5\Delta^2 < \frac{1}{e^z} 0,5\Delta^2 < 0,5\Delta^2 \quad (D.14)$$

$$|R_{1,0}(x)| \leq 0,5\Delta^2 \quad (D.15)$$

Com  $\Delta$  a tomar valores na ordem de  $10^{-3}$ , o erro absoluto vem:

$$|R_{1,0}(x)| \leq 0,5(10^{-3})^2 \quad (D.16)$$

$$|R_{1,0}(x)| \leq 0,5 \times 10^{-6} \quad (D.17)$$

O erro majorado da aproximação terá, então, um valor absoluto inferior a  $5 \times 10^{-7}$ . Desenvolvendo a aproximação obtida:

$$e^{-x} \approx 1 - x \quad (D.18)$$

$$1 - e^{-x} \approx x \quad (D.19)$$

Utilizando a aproximação da equação (D.19) em (D.2) obtém-se:

$$\frac{\Delta I}{I} \approx \frac{\alpha \Delta d}{\alpha d} \quad (D.20)$$

$$\frac{\Delta I}{I} \approx \frac{\Delta d}{d} \quad (D.21)$$

Tal como se queria demonstrar.

## ANEXO E Informação da Vista Geral

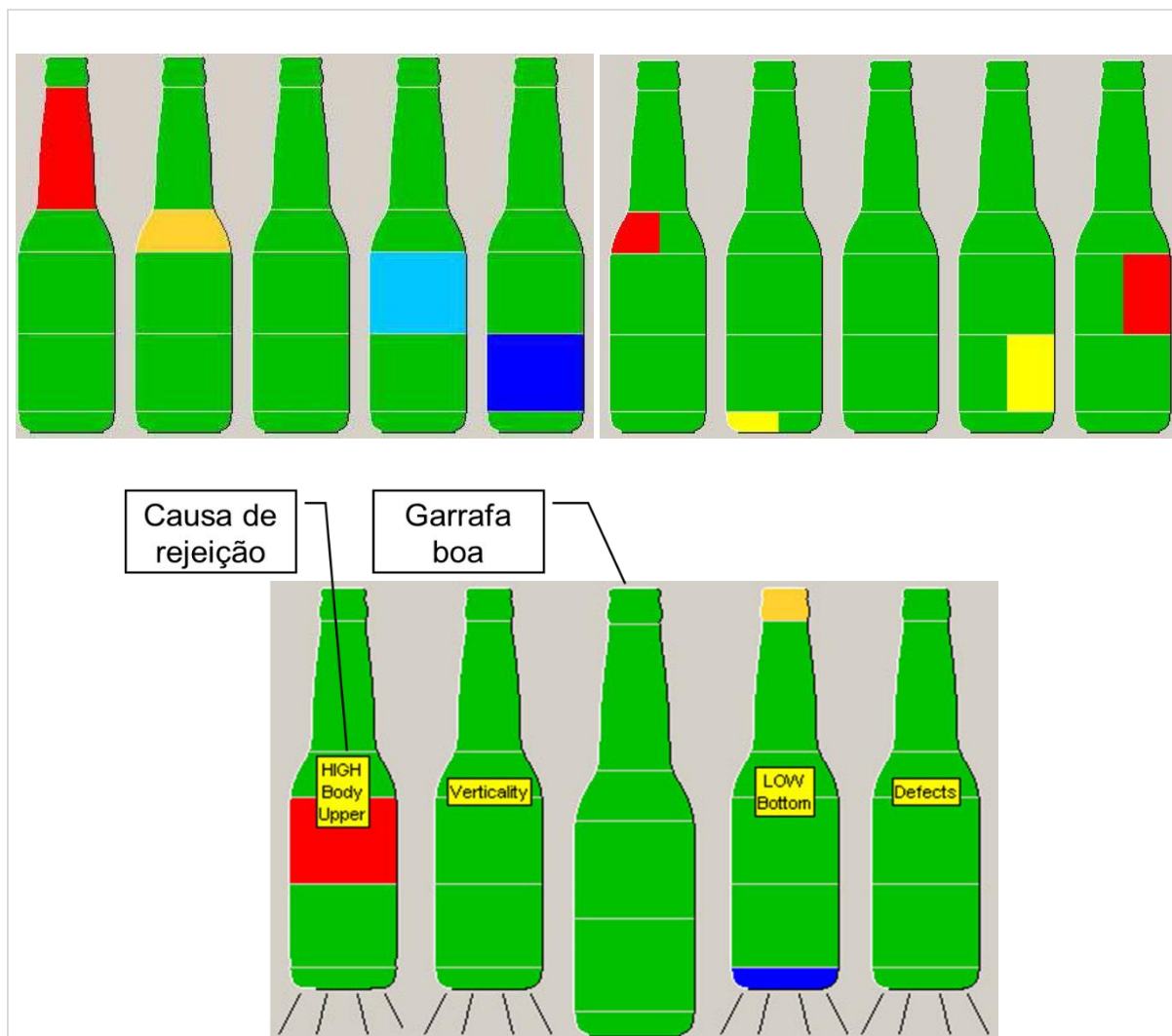


Figura 37 – Exemplos de alertas da “Vista Geral” da consola.

## ANEXO F Relatórios do XMIS



Figura 38 – Menus gerais do XMIS.

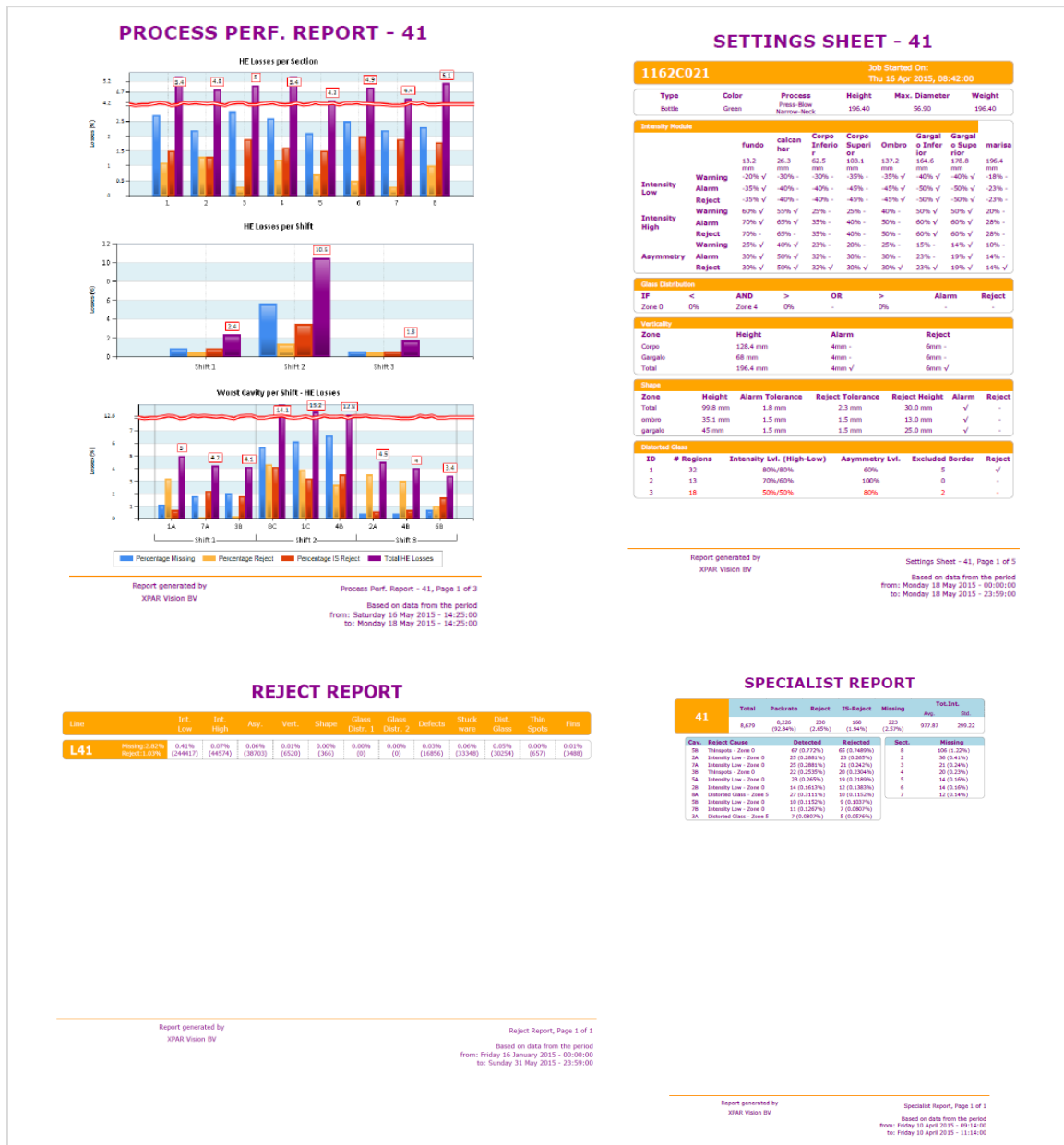


Figura 39 – Exemplos de relatórios do XMIS.

## ANEXO G Matriz de prioridades e impactos do projeto

Impacto	Qualidade entregue ao cliente	Melhoria do rendimento	Melhoria na rejeição de paletes	Redução do vidro solto na Zona Fria	Melhoria da eficiência na cavidade	Ajuda na redução do peso	Melhoria e standardização da forma de lubrificar	Input para ajuste de carga de gota	Contribuição para a redução de pessoal	Ajuda no desenho da ferramenta
Defeito detetado										
Trapézios	4	1	4	0	1	2	2	1	0	1
Agulhas	3	1	2	0	0	1	1	0	0	1
Tapados	4	1	4	0	0	3	3	1	0	1
Barbatanas	3	1	3	3	0	3	3	2	0	0
Gargalo fino	4	2	4	0	0	4	4	0	0	0
Verticalidade	2	2	2	0	1	0	0	0	0	0
Distribuição de vidro	3	2	2	0	1	4	4	2	1	2
Espessura do fundo	3	1	2	0	2	1	1	1	0	2
Fundo inclinado	3	1	3	0	0	1	1	1	0	0
Bolha falsa	3	1	3	0	0	4	4	4	0	0
Pedras	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Marisa deslocada	2	1	3	0	0	1	1	0	0	0
Garrafa colada/tombada	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
Posição das garrafas no tapete	0	3	0	0	2	0	0	0	2	0

Figura 40 – Matriz de prioridades e impactos do projeto.

## **ANEXO H Manual do equipamento, 1º Anexo em volume separado**

Em volume separado é possível encontrar um volume separado com o manual do equipamento, em parte parcial devido a motivos de confidencialidade.

## ANEXO I Consulta dos operadores

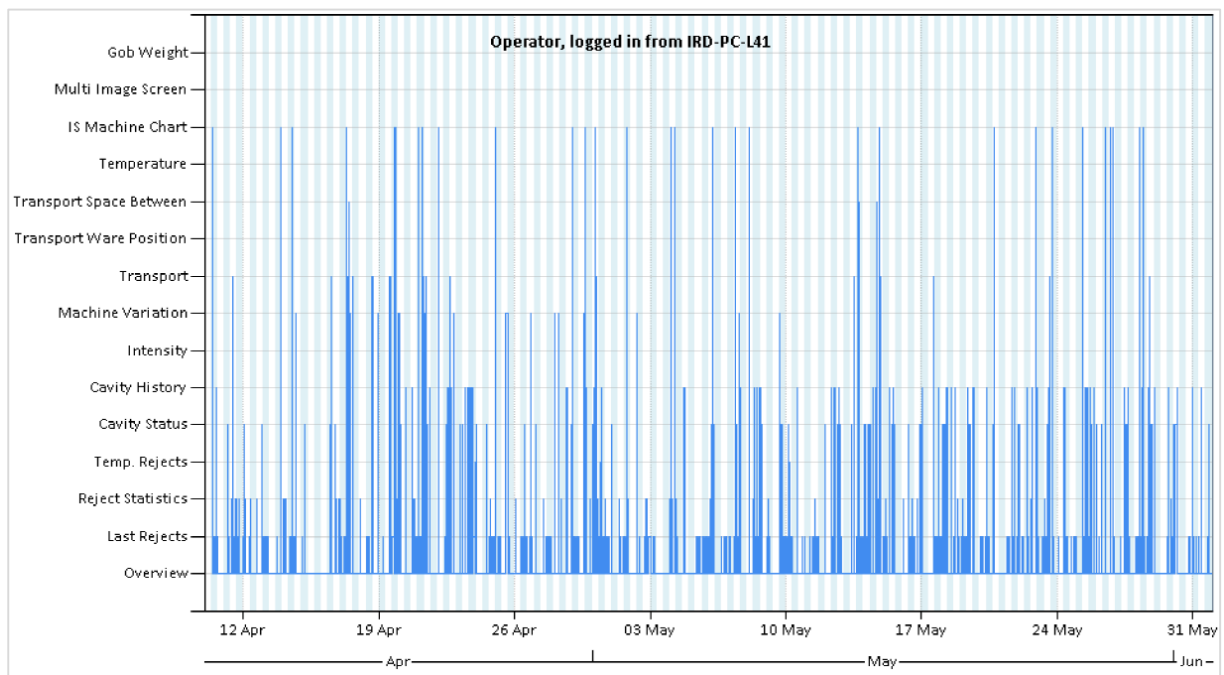


Figura 41 – Relatório de consulta dos operadores na consola.



## ANEXO J Processo de queda da gota

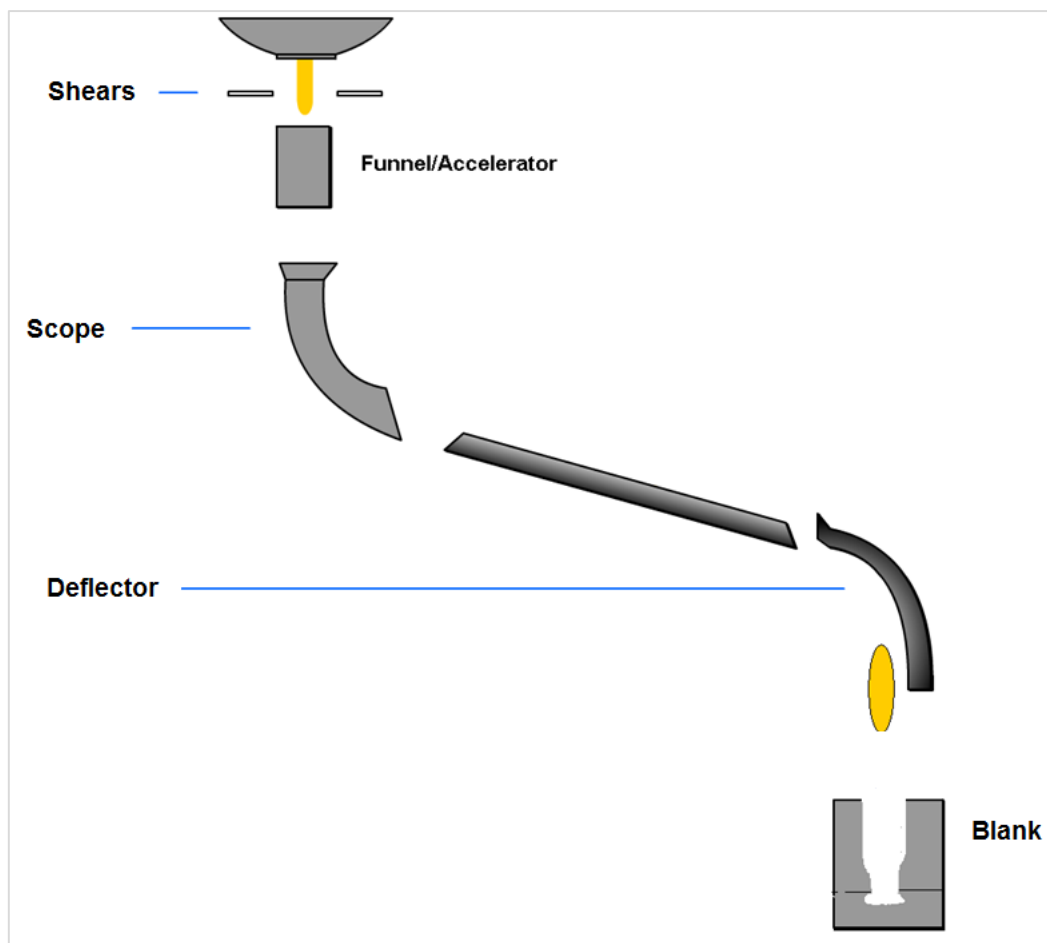


Figura 42 – Esquema com detalhe do processo de queda da gota no molde de principiar.

## ANEXO K Validação da relação intensidade/espessura

Em primeiro lugar, foram usadas as potencialidades do programa Minitab para realizar um teste de identificação da distribuição seguida pelos dados recolhidos, que se apresenta na Figura 43.

Goodness of Fit Test			
Distribution	AD	P	LRT P
Normal	0,909	0,020	
Box-Cox Transformation	0,810	0,035	
Lognormal	0,750	0,049	
3-Parameter Lognormal	0,756	*	0,852
Exponential	36,995	<0,003	
2-Parameter Exponential	8,869	<0,010	0,000
Weibull	1,538	<0,010	
3-Parameter Weibull	0,680	0,068	0,000
Smallest Extreme Value	2,018	<0,010	
Largest Extreme Value	0,883	0,023	
Gamma	0,808	0,038	
3-Parameter Gamma	0,728	*	0,478
Logistic	1,024	<0,005	
Loglogistic	0,889	0,012	
3-Parameter Loglogistic	0,848	*	0,648
Johnson Transformation	0,456	0,261	

Figura 43 – Identificação da distribuição seguida pelos dados recolhidos.

O sugere que os dados seguem uma distribuição normal, após transformação de Johnson. Contudo, considerou-se relevante fazer a análise à capacidade utilizando os “*Sixpack Report*” quer para a variabilidade total e dentro de cada subgrupo (Figura 44), quer para uma distribuição normal (Figura 45).

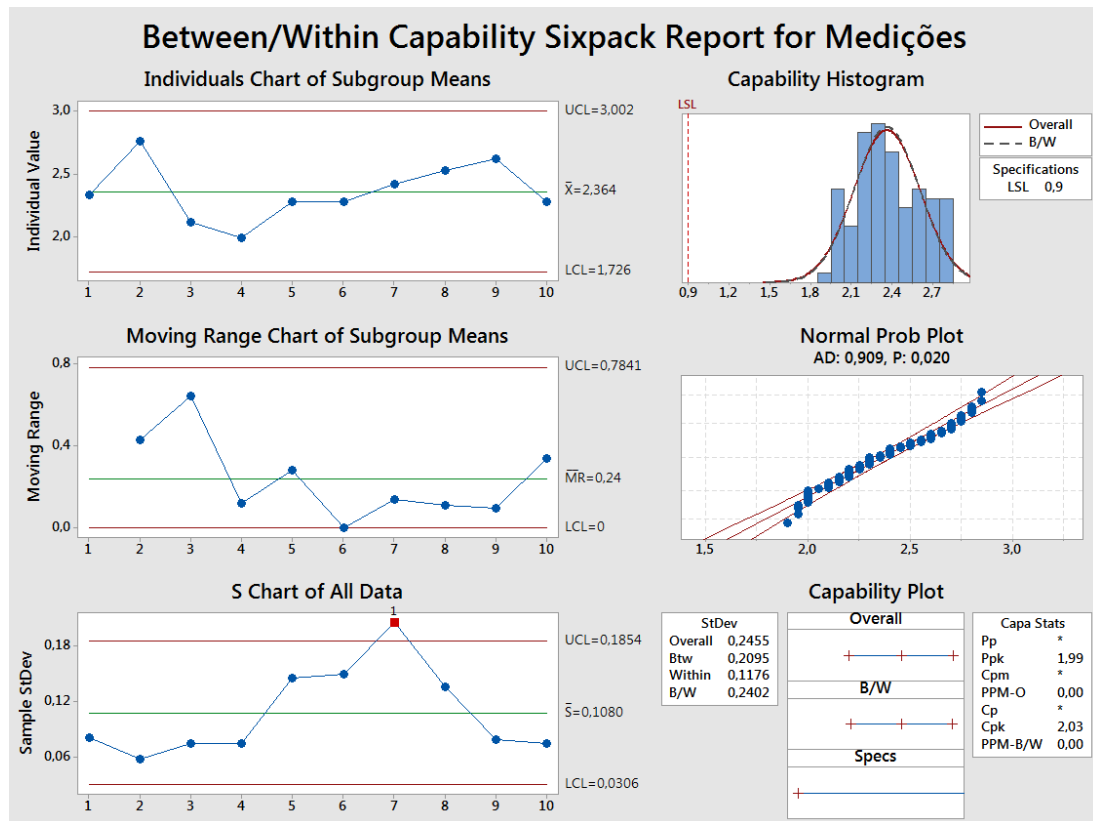


Figura 44 – Análise à capacidade com base na variabilidade total e dentro de cada subgrupo.

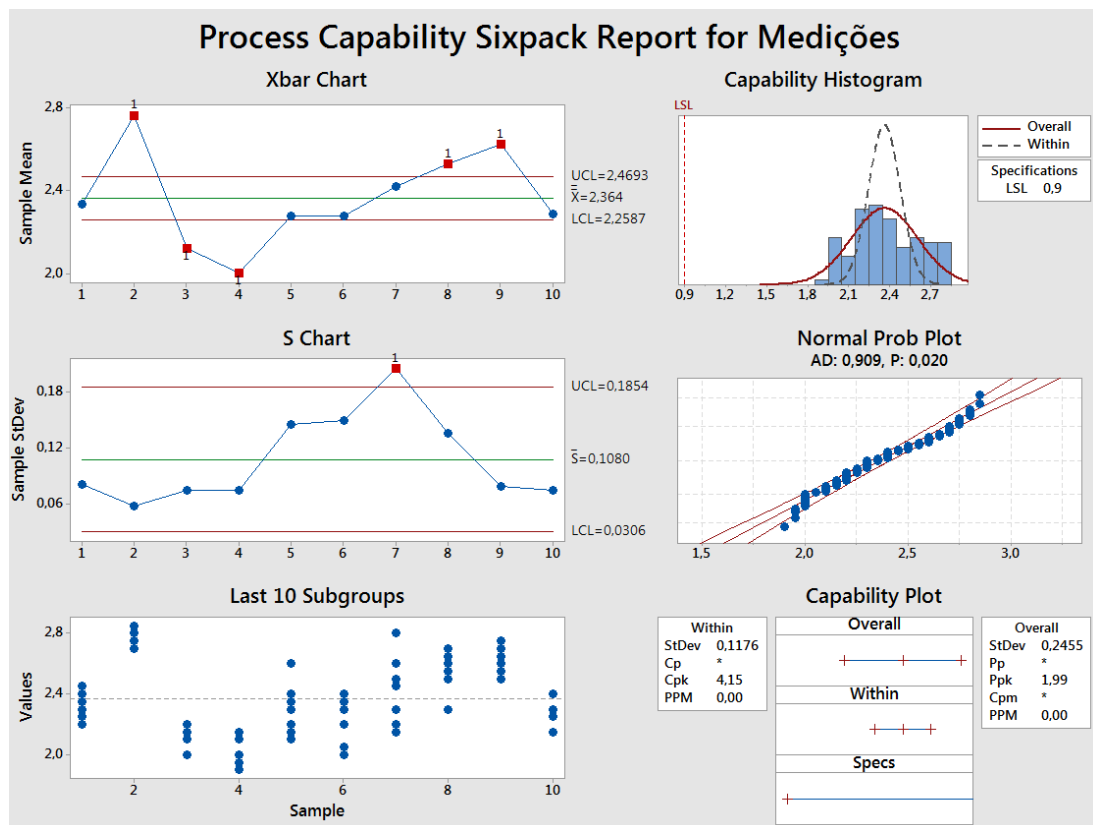


Figura 45 – Análise à capacidade baseada na distribuição normal.

Das duas análises é possível concluir, desde logo, que o processo é capaz, uma vez que os valores observados se encontram todos dentro dos limites das especificações. Os valores dos

indicadores de capacidade são consentâneos com esta consideração – no caso da análise aos subgrupos os valores de  $C_{pk}$  e  $P_{pk}$  são próximos (2,03 e 1,99, respetivamente). A análise segundo a distribuição normal, embora não sendo validada a hipótese de os dados seguirem uma distribuição normal, assinala também a capacidade do processo, ao indicar um  $P_{pk}$  de 1,99 e um potencial de 4,15. Este potencial seria atingido se fossem eliminadas as causas de variabilidade existentes, que se refletem nas diferenças entre os desvios padrões total (0,2455) e interno (0,1176) dos subgrupos, indicados na Figura 44. A distribuição do valor das amostras apresentado no canto inferior esquerdo da Figura 45 demonstra como a variabilidade dentro de cada subgrupo é baixa e como tal não se verifica entre subgrupos.

Por fim, apresenta-se o “Sixpack Report” associado à distribuição normal com transformação de Johnson na Figura 46.

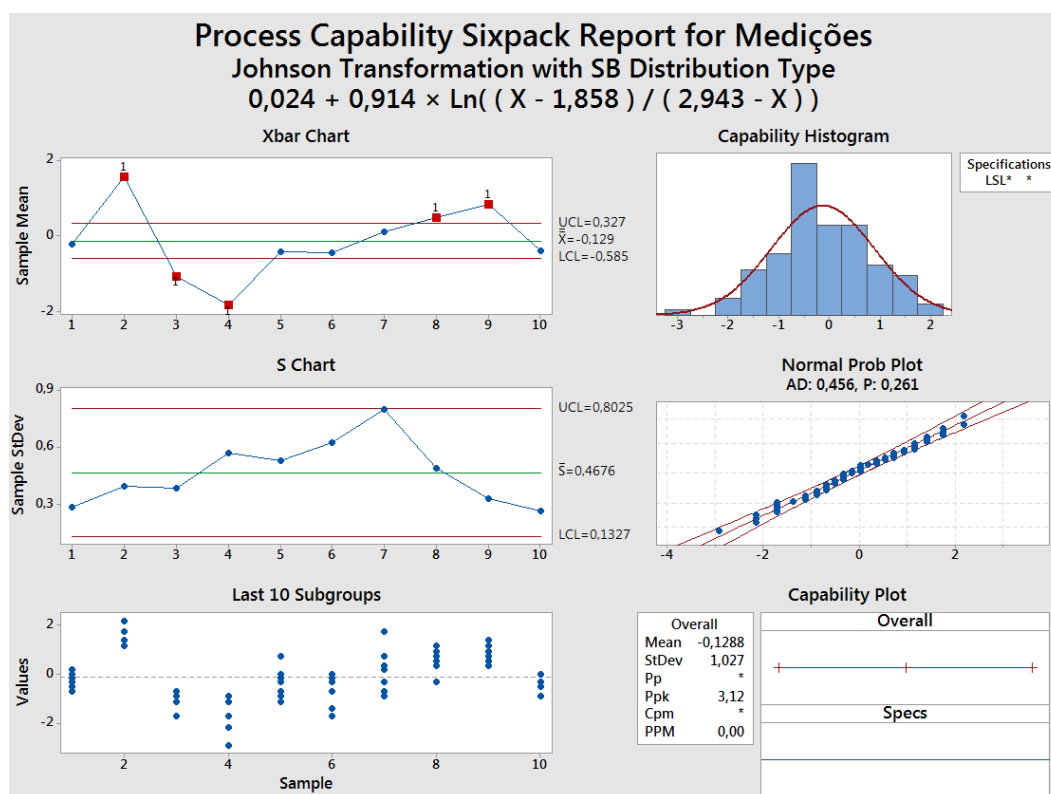


Figura 46 – Análise à capacidade baseada na distribuição normal após transformação de Johnson.

As conclusões são idênticas às obtidas com a análise pela distribuição normal, no que toca às diferenças verificadas na variabilidade dos subgrupos. Tal como nos gráficos anteriores da variabilidade, esta parece estar em controlo estatístico, mas o mesmo não se pode inferir para a média. Todavia, é relevante referir a incapacidade de definir o limite inferior de especificação (0,9) utilizando este método, pois o valor segundo a transformação é impossível, o que condiciona a sua utilização.

## ANEXO L Código VBA para agregação de dados

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	
1	data	hora	horas em min	Turno	modelo_marisa	n1	n3	n4	n5	n6	n8	n9	n10	n11	n12	n13	n14	n15	n16	n21	n22	n27	n28	pack	gobs_cut	lehr_in	id_linha	id_centro	id_forno	linha	sectores	cavidade	
2	22-09-2014	08:59:00			1262C021	5805	11882	175	13	0	13	13	0	5	3	0	3035	18	0	5	0	3035	0	3344	17415	0	1	1	1	41	8		
3	22-09-2014	09:59:00			1262C021	5128	1062	13796	887	210	887	229	0	7	7	0	0	0	0	7	0	0	0	451	15384	0	1	1	1	41	8		
4	22-09-2014	10:59:00			1262C021	5808	342	16987	5257	267	5257	338	0	1741	352	0	2754	181	0	1741	0	2754	0	1018	17424	0	1	1	1	41	8		
5	22-09-2014	11:59:00			1262C021	5806	317	17035	8332	289	8332	457	0	4274	100	0	3829	106	0	4274	0	3829	0	10400	17418	0	1	1	1	41	8		
6	22-09-2014	12:59:00			1262C021	5806	335	16986	15942	260	15942	550	0	7451	176	0	8114	121	0	7451	0	8114	0	14496	17418	0	1	1	1	41	8		
7	22-09-2014	13:59:00			1262C021	5807	105	17032	17251	246	17251	429	0	10482	53	213	6291	161	118	10482	0	6291	0	16180	17421	0	1	1	1	41	8		
8	22-09-2014	14:59:00			1262C021	5816	413	16801	14874	218	14874	378	0	8700	24	375	5324	191	141	8700	0	5324	0	11691	17448	0	1	1	1	41	8		
9	22-09-2014	15:59:00			1262C021	5863	158	13207	10128	149	10128	822	0	4631	264	130	4819	76	110	4631	0	4819	0	9745	17589	0	1	1	1	41	8		
10	22-09-2014	16:59:00			1262C021	5863	213	17278	15072	312	15072	530	0	8155	39	144	6713	194	110	8155	0	6713	0	14261	17589	0	1	1	1	41	8		
11	22-09-2014	17:59:00			1262C021	5864	135	17430	14538	327	14538	448	0	6452	45	223	7851	349	274	6452	0	7851	0	11974	17592	0	1	1	1	41	8		
12	22-09-2014	18:59:00			1262C021	5862	59	17505	15437	277	15437	421	0	7644	15	0	7152	535	1	7644	0	7152	0	13267	17586	0	1	1	1	41	8		
13	22-09-2014	19:59:00			1262C021	5863	120	17459	17303	306	17303	671	0	8762	43	0	7679	116	0	8762	0	7679	0	17446	17589	0	1	1	1	41	8		
14	22-09-2014	20:59:00			1262C021	5863	185	17256	15190	289	15190	489	0	7150	35	0	7426	124	0	7150	0	7426	0	13196	17589	0	1	1	1	41	8		
15	22-09-2014	21:59:00			1262C021	5863	29	17546	19307	554	19307	905	0	9430	80	0	9122	83	0	9430	0	9122	0	18029	17589	0	1	1	1	41	8		
16	22-09-2014	22:59:00			1262C021	5863	82	17462	19279	496	19279	991	0	10098	28	0	8252	78	0	10098	0	8252	0	19341	17589	0	1	1	1	41	8		
17	22-09-2014	23:59:00			1262C021	5863	20	17532	19613	604	19613	982	0	10157	128	0	8321	86	0	10157	0	8321	0	15851	17589	0	1	1	1	41	8		
18	23-09-2014	00:59:00			1262C021	5865	79	17442	16373	494	16373	768	0	8736	83	0	7178	132	0	8736	0	7178	0	19364	17595	0	1	1	1	41	8		
19	23-09-2014	01:59:00			1262C021	5861	420	17120	19064	332	19064	530	0	9846	49	0	8665	93	0	9846	0	8665	0	16861	17583	0	1	1	1	41	8		
20	23-09-2014	02:59:00			1262C021	5865	62	17494	17656	288	17656	492	0	9261	60	42	7788	49	46	9261	0	7788	0	16722	17595	0	1	1	1	41	8		
21	23-09-2014	03:59:00			1262C021	5862	85	17460	17827	278	17827	426	0	9987	25	0	7461	40	0	9987	0	7461	0	17677	17586	0	1	1	1	41	8		
22	23-09-2014	04:59:00			1262C021	5863	56	17500	10198	213	10198	327	0	5226	15	0	4644	26	0	5226	0	4644	0	10066	17589	0	1	1	1	41	8		
23	23-09-2014	05:59:00			1262C021	5863	58	17457	17658	250	17658	378	0	9159	21	0	7995	30	0	9159	0	7995	0	13070	17589	0	1	1	1	41	8		
24	23-09-2014	06:59:00			1262C021	5864	111	17408	16188	235	16188	392	0	9252	20	0	6569	43	0	9252	0	6569	0	18149	17592	0	1	1	1	41	8		
25	23-09-2014	07:59:00			1262C021	5863	76	17473	17727	378	17727	577	0	8642	63	0	8365	81	0	8642	0	8365	0	16380	17589	0	1	1	1	41	8		
26	23-09-2014	08:59:00			1262C021	5863	65	17295	12222	320	12222	598	0	7113	25	0	4912	316	0	7113	0	4912	0	13794	17589	0	1	1	1	41	8		
27	23-09-2014	09:59:00			1262C021	5863	135	17190	15697	383	15697	526	0	8075	124	0	6631	146	0	8075	0	6631	0	13604	17589	0	1	1	1	41	8		
28	23-09-2014	10:59:00			1262C021	5863	153	17336	17409	351	17409	494	0	8780	146	0	8125	174	0	8780	0	8125	0	16725	17589	0	1	1	1	41	8		
29	23-09-2014	11:59:00			1262C021	5864	267	17258	18865	347	18865	490	0	10104	113	0	8214	153	0	10104	0	8214	0	17682	17592	0	1	1	1	41	8		
30	23-09-2014	12:59:00			1262C021	5698	43	17028	14708	245	14708	431	0	8530	116	0	6174	78	0	8530	0	6174	0	13729	17094	0	1	1	1	41	8		
31	23-09-2014	13:59:00			1262C021	5863	351	16888	19651	296	19651	568	0	9916	49	0	8708	52	0	9916	0	8708	0	19532	17589	0	1	1	1	41	8		
32	23-09-2014	14:59:00			1262C021	5864	39	17525	18018	275	18018	544	0	9261	52	0	8227	66	0	9261	0	8227	0	17599	17592	0	1	1	1	41	8		

Figura 47 – Dados em bruto com contadores.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	O	P	Q	R	T	V	AF	AG	AH	A	
2	Dia	Turno	Referência	N1	N3	N4	N5	N6	N8	N9	N11	N12	N14	N15	N16	N21	N27	Flex BC	Flex M's	AF	AG	AH	A
3	22-set-14	C	1262C021	45839	14614	112019	72684	1639	72684	3216	37291	979	34166	854	369	37291	34166	0,815	2,033				
4	22-set-14	D	1262C021	46904	843	139468	135739	3165	135739	5437	67848	413	62516	1565	385	67848	62516	0,991	2,143				
5	23-set-14	A	1262C021	46906	947	139354	132691	2468	132691	3890	70109	336	58665	494	46	70109	58665	0,990	2,087				
6	23-set-14	B	1262C021	46740	1186	137941	130220	2412	130220	3999	68688	659	57561	1028	155	68688	57561	0,984	2,105				
7	23-set-14	C	1262C021	43179	1187	127774	111536	1235	111536	3645	50469	1621	57403	338	1109	50469	57403	0,986	2,166				
8	24-set-14	D	1262C021	46904	832	139374	137486	2100	137486	3824	73802	977	59700	863	1	73802	59700	0,990	2,102				
9	24-set-14	A	1262C021	44402	876	131715	104333	2143	104333	3412	54459	335	46700	392	0	54459	46700	0,989	2,095				
10	24-set-14	B	1262C021	46905	2450	136144	142900	2237	142900	3648	81770	314	57749	508	331	81770	57749	0,968	2,062				
11	25-set-14	C	1262C021	45328	1616	133516	120595	2244	120595	4088	64481	414	53319	308	0	64481	53319	0,982	2,087				
12	25-set-14	D	1262C021	44460	15379	111393	112975	1951	112975	3904	60445	395	48064	419	294	60445	48064	0,835	1,957				
13	25-set-14	A	1262C021	46906	2668	136915	128603	2215	128603	4158	68951	412	55433	176	1269	68951	55433	0,973	2,103				
14	26-set-14	B	1262C021	43876	2464	128367	124722	1823	124722	3124	69826	303	51625	208	143	69826	51625	0,975	2,058				
15	26-set-14	C	1262C021	46030	1471	135841	136140	1688	136140	3172	71999	620	60990	467	341	71999	60990	0,984	2,080				
16	26-set-14	D	1262C021	45089	1379	133648	140052	1564	140052	2776	75448	609	62092	233	759	75448	62092	0,988	2,084				
17	27-set-14	A	1262C021	45126	1857	132671	116898	2568	116898	3995	60675	513	52163	152	560	60675	52163	0,980	2,111				
18	27-set-14	B	1262C021	46905	1512	138442	135322	1861	135322	3412	54459	335	46700	392	0	54459	46700	0,989	2,095				
19	27-set-14	C	1262C021	46906	1285	138970	111360	1572	111360	3108	58993	494	48962	643	321	58993	48962	0,988	2,100				
20	28-set-14	D	1262C021	46904	1763	138423	147045	2574	147045	4468	78745	778	64304	1407	0	78745	64304	0,984	2,104				
21	28-set-14	A	1262C021	45881	1529	135546	138314	2545	138314	4518	74050	724	59671	616	109	74050	59671	0,985	2,106				
22	28-set-14	B	1262C021	46906	1581	138208	142177	1926	142177	3482	77925	855	60844	881	0	77925	60844	0,982	2,081				
23	29-set-14	C	1262C021	46905	1664	138326	148869	3090	148869	4759	76997	603	67460	859	0	76997	67460	0,983	2,096				
24	29-set-14	D	1262C021	46905	1552	138216	129155	1886	129155	3339	68942	648	57014	1525	0	68942	57014	0,982	2,094				
25	29-set-14	A	1262C021	46904	1490	137913	139511	2053	139511	3340	75041	714	59978	1474	127	75041	59978	0,980	2,109				
26	30-set-14	B	1262C021	46905	1861	136840	138629	1987	138629	3860	75090	958	60531	948	0	75090	60531	0,972	2,084				
27	30-set-14	C	1262C021	46904	1321	137677	139643	1934	139643	3094	67543	619	59036	136	575	67543	59036	0,973	2,079				
28	30-set-14	D	1262C021	46453	1708	132577	130879	2104	130879	3161	92609	194	59012	380	1666	69263	59012	0,951	2,082				
29	1-out-14	A	1262C021	46450	1344	137281	138990	2098	138990	3209	74257	206	62098	564	0	74257	62098	0,985	2,061				
30	1-out-14	B	1262C021	46452	1800	135872	128126	1238	128126	2832	64831	291	55943	544	253	64831	55943	0,975	2,059				
31	1-out-14	C	1262C021	42324	3292	121752	116862	1048	116862	2335	57827	208	57403	352	1410	57827	57403	0,923	2,033				
32	2-out-14	D	1262C021	43449	2884	124560	121439	1673	121439	2869	63302	377	55605	862	431	63302	55605	0,958	2,030				

## ANEXO M Produção do vidro preto

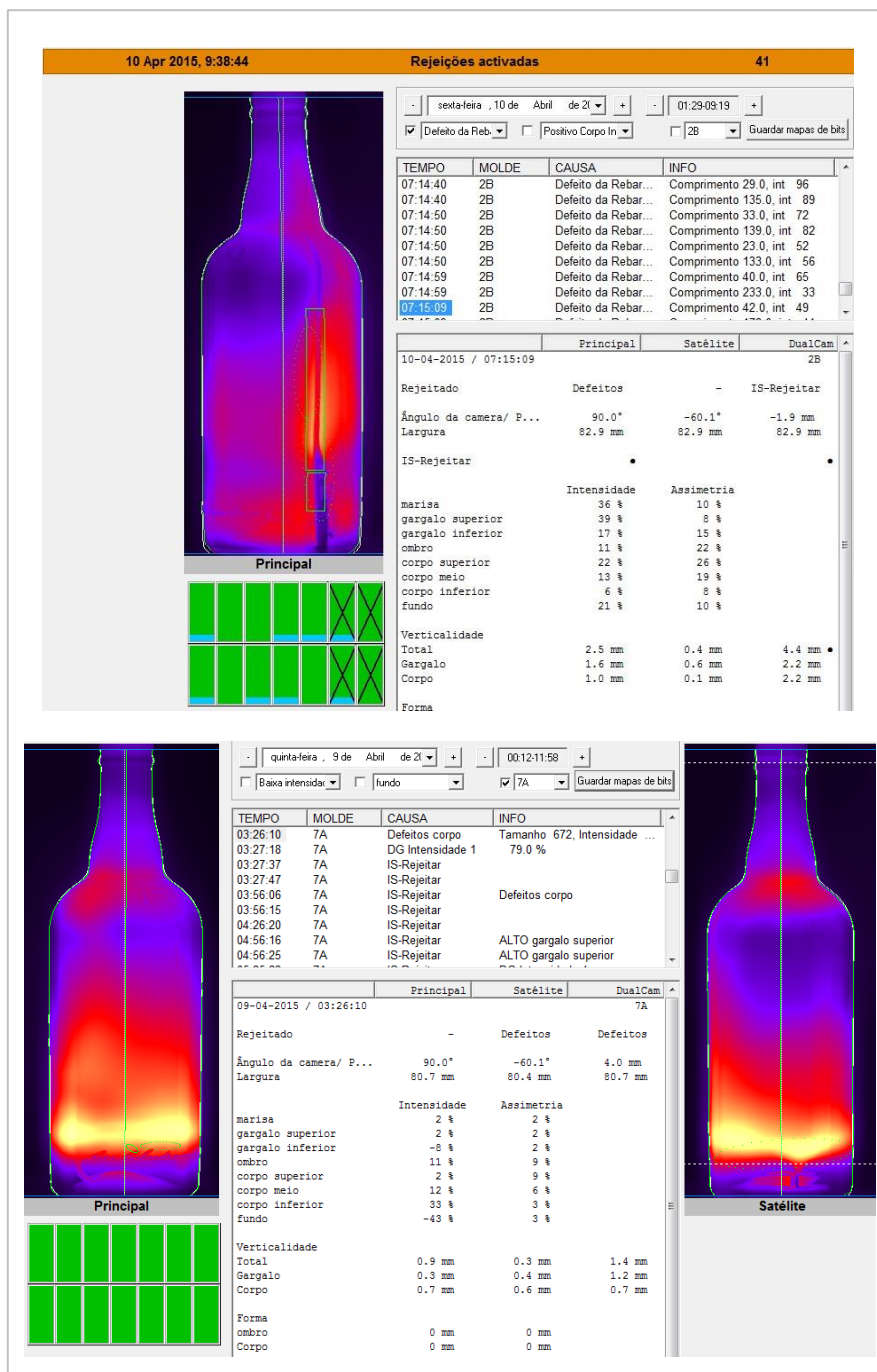


Figura 49 – Imagens de defeitos detetados pelo sistema na produção de vidro preto.

## ANEXO N Melhorias no IAFIS



Figura 50 – Inconsistência no valor dos dois quadros do software IAFIS para a linha 41.





Figura 51 – Versão corrigida do IAFIS.



## ANEXO O Período de Recuperação do investimento

Tabela 9 – Dados utilizados no cálculo dos *cash flows*.

Preço [€/tonelada]			310,00 €		
%Rej MIL com XPAR			5,5%		
%Rej MIL sem XPAR			5,9%		
Consumo do sistema [W]			4805		
Energia consumida [J]			151.530.480.000		
Consumo do sistema [kWh]			42092		
Preço [kWh]			0,11 €		
	Cadência [unidades/min]	Peso [kg]	% Tempo por ano	Unidades em 2 anos*	Ef Quente atual
1162	334	0,165	77%	376.158.182	0,964
1262	287	0,205	23%	68.958.490	0,964

\*consideram-se 364 dias para compensar tempo perdido em mudanças de referência.

Fazendo VC = VM Amortizado em 10 anos (comum a todos os cenários)	
VC (t=2)	160.000,00 € (200.000.00 x 0,8)
Valor Residual	160.000,00 €

### Cenário 1: Taxa de rejeição desce 0,15 pontos percentuais

Tabela 10 – Ganhos de produção no cenário 1.

1162	Ef Quente com XPAR	260.305.498,25
	Ef Quente sem XPAR	259.901.087,85
	Rej MIL com XPAR	245.988.695,85
	Rej MIL sem XPAR	244.566.923,66
	Ganho	72.723,65 €
1262	Ef Quente com XPAR	66.812.216,89
	Ef Quente sem XPAR	66.708.417,48
	Rej MIL com XPAR	63.137.544,96
	Rej MIL sem XPAR	62.772.620,85
	Ganho	23.190,93 €
Total ganho em produção		95.914,57 €

Tabela 11 – Mapa de *cash flows* (CF) do cenário 1.

Rubrica \ Ano	0	1	2
<b>Rendimentos e gastos</b>			
Vendas		47.957,29 €	47.957,29 €
Gastos com o pessoal		- €	- €
Outros gastos (eletricidade)		4.630,10 €	4.630,10 €
Depreciações		19.801,98 €	19.605,92 €
<b>Resultado antes de impostos</b>		23.525,21 €	23.721,27 €
Matéria coletável		23.525,21 €	23.721,27 €
Impostos (25%)		5.881,30 €	5.930,32 €
<b>Resultado após impostos</b>		17.643,91 €	17.790,95 €
<b>CF Investimento</b>			
Investimento	200.000,00 €		
Valor residual			160.000,00 €
<b>CF Totais</b>	-200.000,00 €	17.643,91 €	177.790,95 €

Tabela 12 – Período de Recuperação no cenário 1.

<b>Período de Recuperação</b>	
t (anos)	2
Investimento	200.000,00 €
Somatório CF até t	181.343,02 €
diferença	- 18.656,98 €
t (anos)	3
Investimento	200.000,00 €
Somatório CF até t	173.819,04 €
diferença	- 26.180,96 €
...	
t (anos)	9
Investimento	200.000,00 €
Somatório CF até t	149.238,08 €
diferença	- 50.761,92 €
t (anos)	10
Investimento	200.000,00 €
Somatório CF até t	147.965,38 €
diferença	- 52.034,62 €

**Cenário 2: Taxa de rejeição desce 0,10 pontos percentuais**

Tabela 13 – Ganhos de produção no cenário 2.

1162	Ef Quente com XPAR	260.170.694,78
	Ef Quente sem XPAR	259.901.087,85
	Rej MIL com XPAR	245.861.306,57
	Rej MIL sem XPAR	244.566.923,66
	Ganho	66.207,69 €
1262	Ef Quente com XPAR	66.777.617,09
	Ef Quente sem XPAR	66.708.417,48
	Rej MIL com XPAR	63.104.848,15
	Rej MIL sem XPAR	62.772.620,85
	Ganho	21.113,04 €
Total ganho em produção		87.320,73 €

Tabela 14 – Mapa de *cash flows* (CF) do cenário 2.

Rubrica \ Ano	0	1	2
<b>Rendimentos e gastos</b>			
Vendas		43.660,37 €	43.660,37 €
Gastos com o pessoal		- €	- €
Outros gastos (eletricidade)		4.630,10 €	4.630,10 €
Depreciações		19.801,98 €	19.605,92 €
Resultado antes de impostos		19.228,29 €	19.424,35 €
Matéria coletável		19.228,29 €	19.424,35 €
Impostos (25%)		4.807,07 €	4.856,09 €
Resultado após impostos		14.421,22 €	14.568,26 €
<b>CF Investimento</b>			
Investimento	200.000,00 €		
Valor residual			160.000,00 €
CF Totais	-200.000,00 €	14.421,22 €	174.568,26 €

Tabela 15 – Período de Recuperação no cenário 2.

Período de Recuperação	
t (anos)	2
Investimento	200.000,00 €
Somatório CF até t	175.264,72 €
diferença	- 24.735,28 €
t (anos)	3
Investimento	200.000,00 €
Somatório CF até t	164.875,78 €
diferença	- 35.124,22 €
...	
t (anos)	9
Investimento	200.000,00 €
Somatório CF até t	125.276,30 €
diferença	- 74.723,70 €
t (anos)	10
Investimento	200.000,00 €
Somatório CF até t	121.826,46 €
diferença	- 78.173,54 €

**Caso 3: Taxa de rejeição desce 0,19 pontos percentuais**

Tabela 16 – Ganhos de produção no cenário 3.

1162	Ef Quente com XPAR	260.413.341,03
	Ef Quente sem XPAR	259.901.087,85
	Rej MIL com XPAR	246.090.607,27
	Rej MIL sem XPAR	244.566.923,66
	Ganho	77.936,42 €
1262	Ef Quente com XPAR	66.839.896,73
	Ef Quente sem XPAR	66.708.417,48
	Rej MIL com XPAR	63.163.702,41
	Rej MIL sem XPAR	62.772.620,85
	Ganho	24.853,23 €
Total ganho em produção		102.789,65 €

Tabela 17 – Mapa de *cash flows* (CF) do cenário 3.

Rubrica \ Ano	0	1	2
<b>Rendimentos e gastos</b>			
Vendas		51.394,82 €	51.394,82 €
Gastos com o pessoal		- €	- €
Outros gastos (eletricidade)		4.630,10 €	4.630,10 €
Depreciações		19.801,98 €	19.605,92 €
<b>Resultado antes de impostos</b>		26.962,75 €	27.158,81 €
Matéria coletável		26.962,75 €	27.158,81 €
Impostos (25%)		6.740,69 €	6.789,70 €
<b>Resultado após impostos</b>		20.222,06 €	20.369,10 €
<b>CF Investimento</b>			
Investimento	200.000,00 €		
Valor residual			160.000,00 €
<b>CF Totais</b>	-200.000,00 €	20.222,06 €	180.369,10 €

Tabela 18 – Período de Recuperação no cenário 3.

<b>Período de Recuperação</b>	
t (anos)	2
Investimento	200.000,00 €
Somatório CF até t	186.205,66 €
diferença	- 13.794,34 €
t (anos)	3
Investimento	200.000,00 €
Somatório CF até t	180.973,65 €
diferença	- 19.026,35 €
...	
t (anos)	9
Investimento	200.000,00 €
Somatório CF até t	168.407,50 €
diferença	- 31.592,50 €
t (anos)	10
Investimento	200.000,00 €
Somatório CF até t	168.876,51 €
diferença	- 31.123,49 €